



# Etude de l'isolation thermique du four cible-source pour Spiral2

F. Launay

## ► To cite this version:

F. Launay. Etude de l'isolation thermique du four cible-source pour Spiral2. 2010, pp.26. in2p3-00503138

**HAL Id: in2p3-00503138**

**<https://hal.in2p3.fr/in2p3-00503138>**

Submitted on 16 Jul 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**IPNO 10-01**

**Etude de l'isolation thermique du four  
cible-source pour Spiral2.**

**François Launay**

# ETUDE COMPARATIVE LOCALE DE L'ISOLATION AVANT (COTE SOURCE) POUR LE FOUR VERSION 5-3.

François Launay \*

Avril 2010

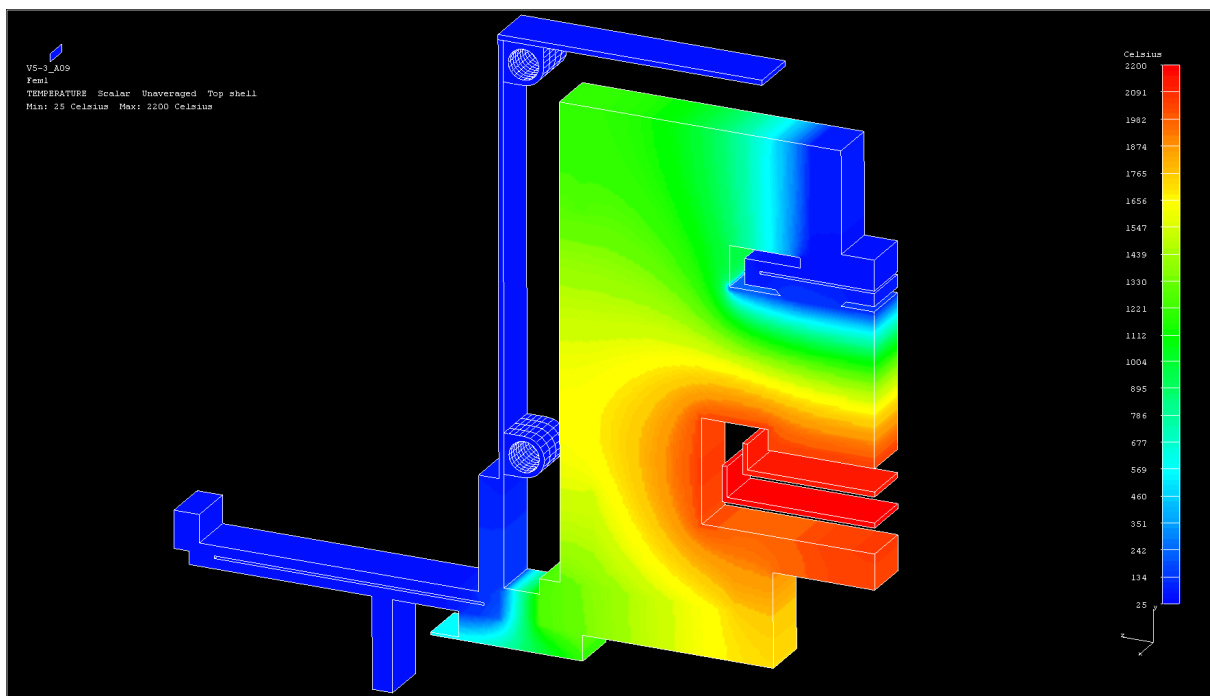


Figure 1. Modèle de calcul avec températures.

\* CNRS/IN2P3/IPNO/DA 91406 Orsay Cedex. ([launayf@ipno.in2p3.fr](mailto:launayf@ipno.in2p3.fr))

## Sommaire.

1	Introduction.	4
2	Etudes étape n°1.	5
2.1	Généralités.	5
2.2	Modèle n°1(Figure 4).	6
2.3	Modèle n°2.	9
2.4	Modèle n°3.	11
2.4.1	Configurations E17, E19.	12
2.4.2	Configurations E20, E21.	13
2.4.3	Configurations E22.	15
2.5	Commentaires.	16
3	Etude de l'étape n°2.	16
3.1	Généralités.	16
3.2	ModèleV5-3-A03.	16
3.2.1	Comparaison V5-3-A03 et V5-3-A03-2.	18
3.2.2	Comparaison V5-3-A03-1 et V5-3-A03-2.	19
3.2.3	Configuration V5-3-A03-2.	19
3.3	ModèleV5-3-A04-2.	20
4	Etude de l'étape n°3.	21
4.1	ModèleV5-3-A09.	21
4.1.1	Comparaison étude17 et étude18.	22
4.1.2	Comparaison étude18 et étude19.	24
4.1.3	Comparaison étude18 et étude20.	25
4.2	Commentaires.	26
5	Conclusions.	26
6	Références.	26

## **1 Introduction.**

Le but de ces simulations thermiques est d'étudier le comportement de matériaux isolants hautes températures, de type Grafshield [1], en fonction des épaisseurs, et des combinaisons d'arrangements.

Ces calculs sont fait sur des géométries élémentaires représentant une tranche 3D de la partie avant du four (vue coté source). Les géométries ont évolué au cours du temps et trois étapes sont présentées dans ce document.

Les calculs sont réalisés avec le logiciel NX-IDEAS [2].

Les calculs effectués en régime établi sont de type non linéaire, les caractéristiques des matériaux variant avec la température. La conductivité thermique du matériau est de type orthotrope pour les parties : isolant intérieur, isolant avant, inter-isolant, et écran isolant. Ces deux dernier matériaux appelés « Grafoil » [1] sont minces ( $\sim 0,5$  mm). Quatre autres matériaux constituent une tranche élémentaire soit: une enceinte refroidie en acier inoxydable, la résistance de chauffage et l'enveloppe en tantale, un écran en cuivre, et le creuset en graphite (Figure 2). Les isolants intérieur et avant sont usinés séparément.

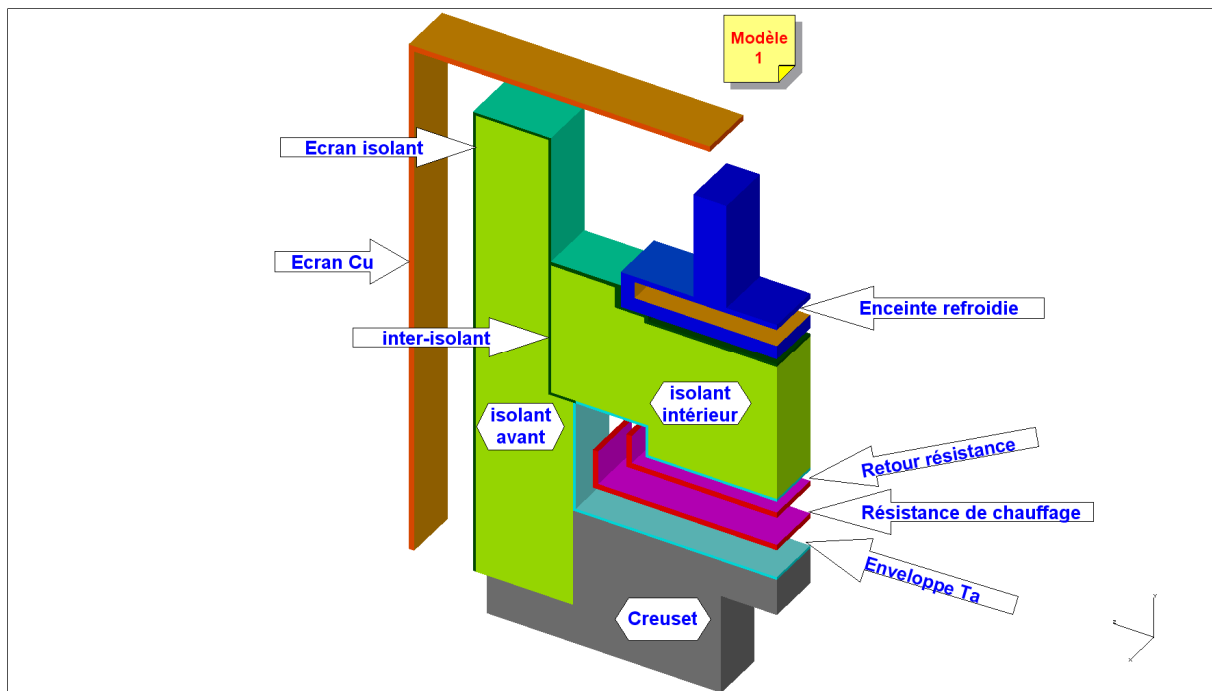


Figure 2 : Modèle n°1.

## 2 Etudes étape n°1.

### 2.1 Généralités.

Dans cette étape plusieurs variantes autour d'une géométrie de base sont explorées, et dénommées modèle n°1, modèle n°2, modèle n°3.

Les conditions aux limites appliquées pour les calculs sont identiques pour les 3 modèles (Figure 3). Une température de 2200 °C est appliquée sur la résistance. Il y a transfert :

- convectif avec de l'eau pour l'enceinte refroidie et l'écran cuivre,  $hc_{\text{enceinte-refroidie}} : 800\text{W}/(\text{m}^2.\text{°C})$ ,  $hc_{\text{ecran-Cu}} : 4500\text{W}/(\text{m}^2.\text{°C})$
- radiatif entre l'isolant intérieur et l'enceinte refroidie
- radiatif entre résistance et enveloppe tantale
- radiatif entre écran isolant et écran cuivre
- radiatif entre partie supérieure de l'enceinte refroidie, des isolants et l'écran cuivre
- radiatif entre l'écran cuivre et l'environnement

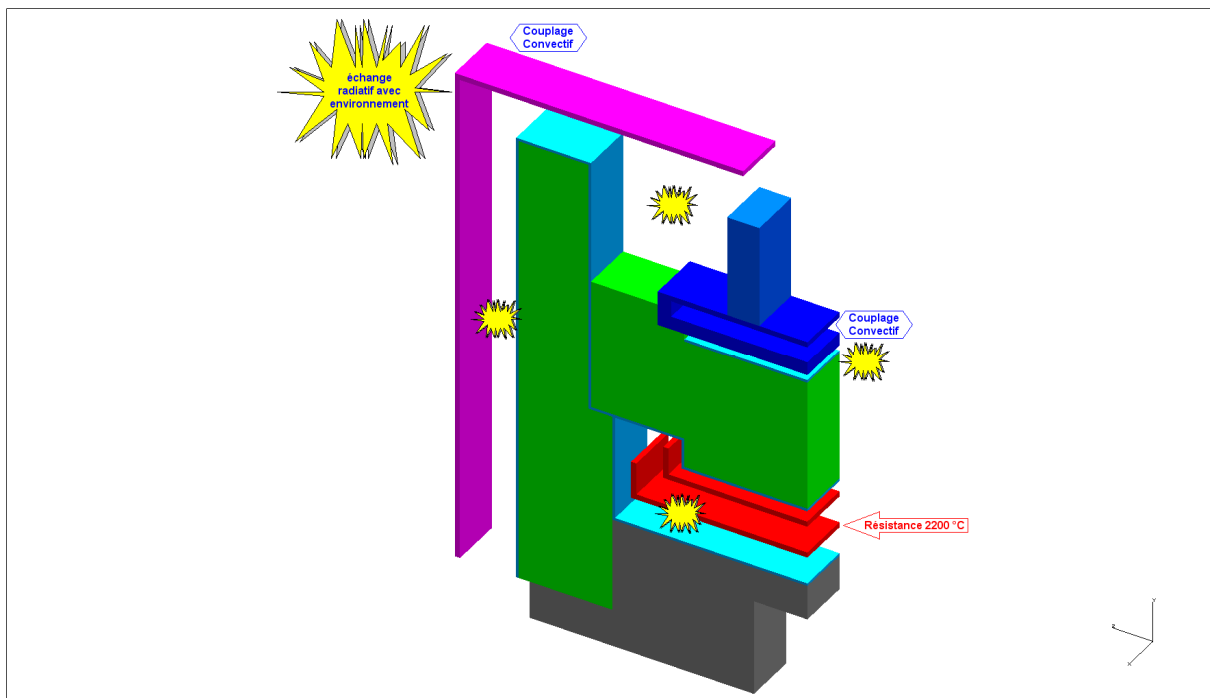


Figure 3. Conditions aux limites.

## 2.2 Modèle n°1.

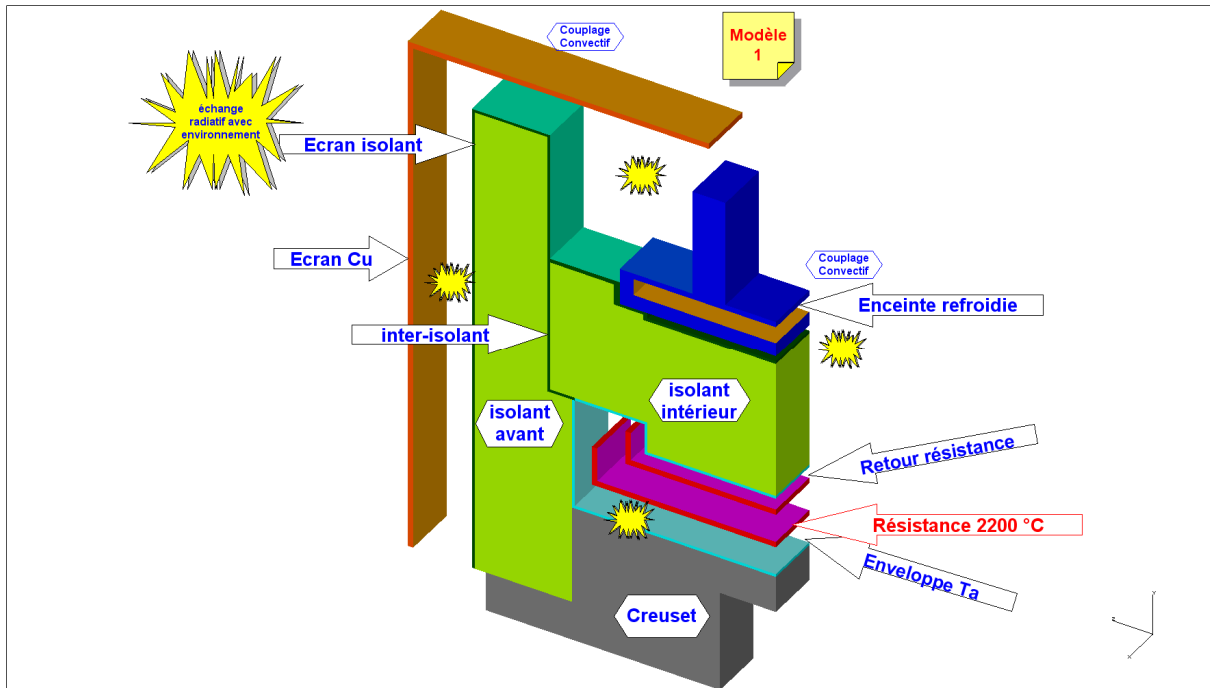


Figure 4 Modèle de calcul n°1.

Les résultats de températures sont présentés Figure 5. La puissance totale de chauffage ainsi que les puissances convectées et rayonnées sont indiquées en rouge. Les flèches rouges sur les isolants indiquent l'orientation du plan de plus faible conduction. Les températures pariétales en extrémité de l'enceinte refroidie sont élevées (204°C et 199°C).

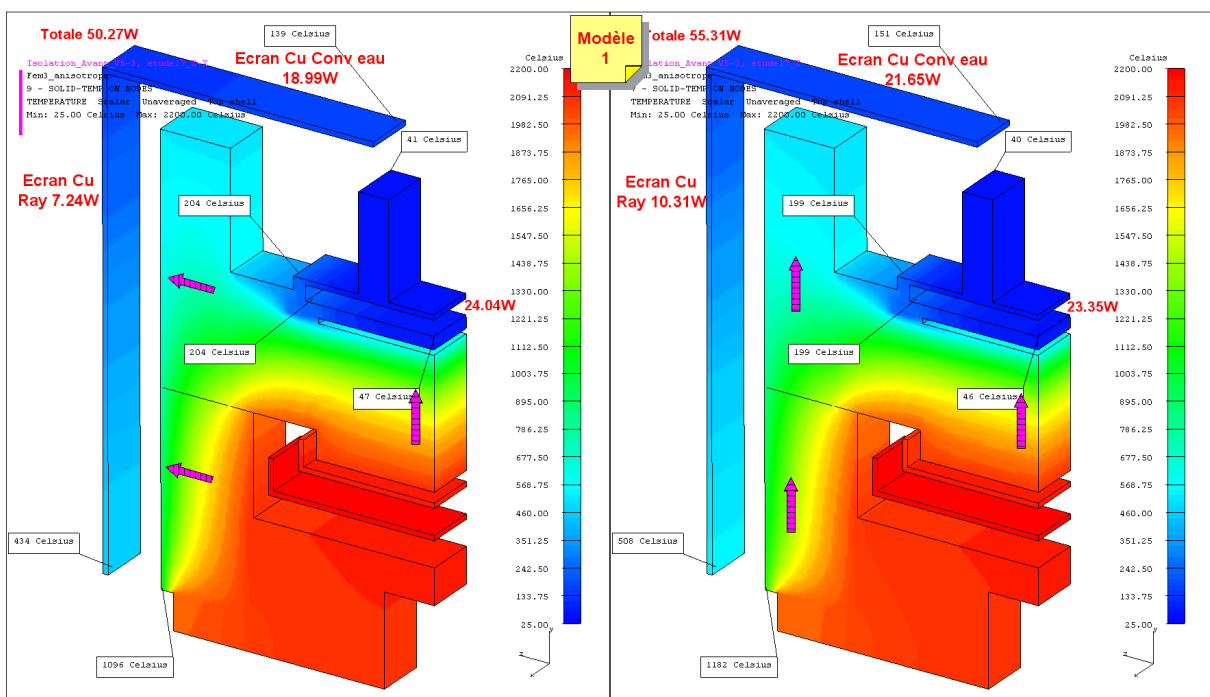


Figure 5 Températures et puissances

Dans ce modèle de calcul la position initiale des écrans Grafoil est présentée Figure 6.

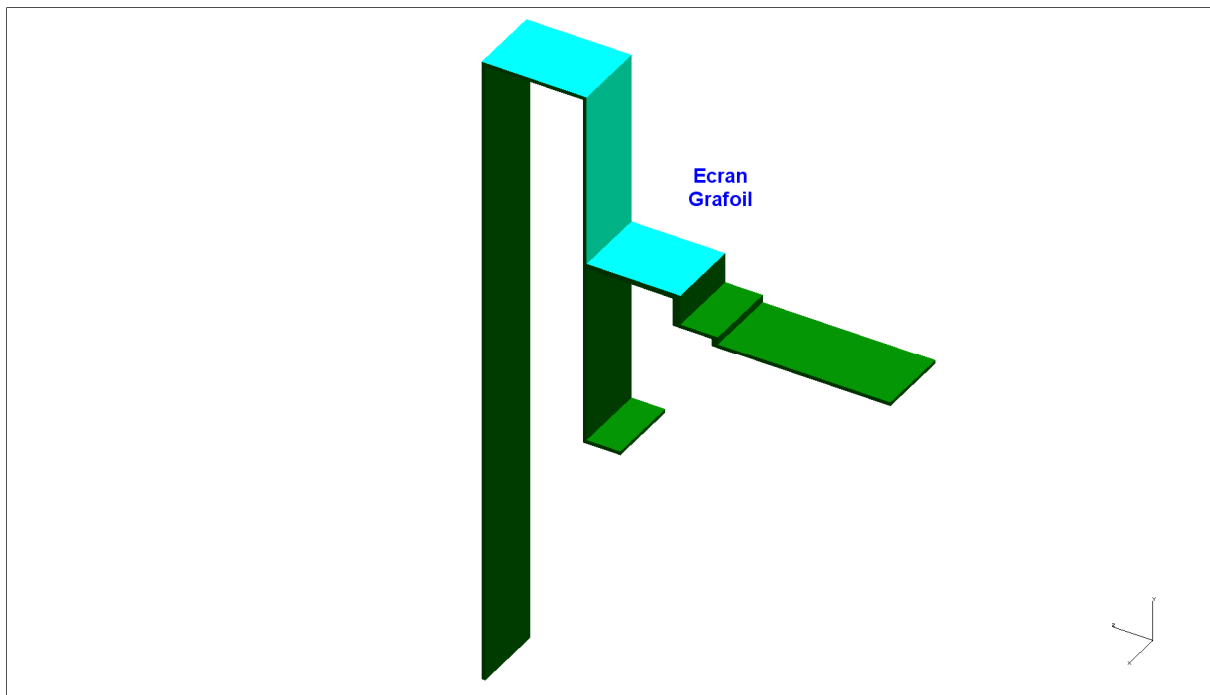


Figure 6. Position initiale du Grafoil.

Le tracé de la densité de puissance issue du calcul précédent montre un effet de drain thermique à l'interface des 2 isolants (Figure 7 G). La suppression de l'inter-isolant (Figure 8) modifie significativement cet effet (Figure 7 D).

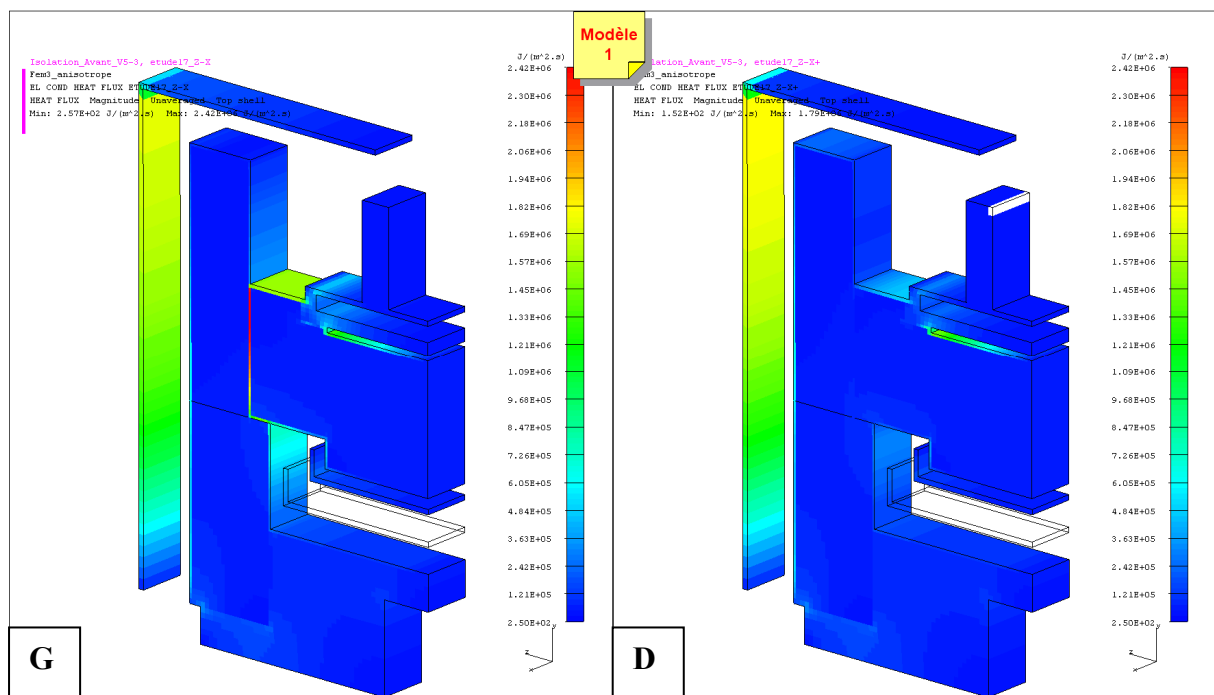


Figure 7. Densité de puissance



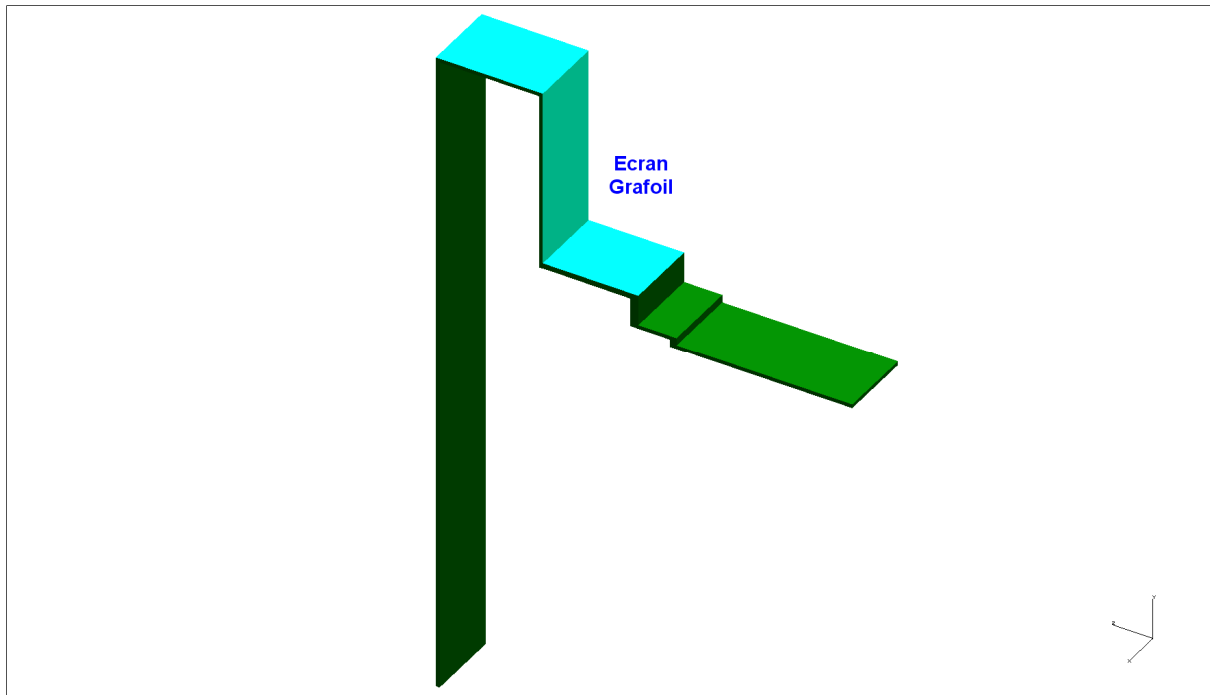


Figure 8. Modification de l'inter-isolant

Cette modification constatée pour les flux se traduit par des baisses pour les températures pariétales en extrémité de l'enceinte refroidie de 204°C à 155°C (-24%) et pour la puissance totale de 50.27W à 43.54W (-13%) dans la configuration de la Figure 9 G.

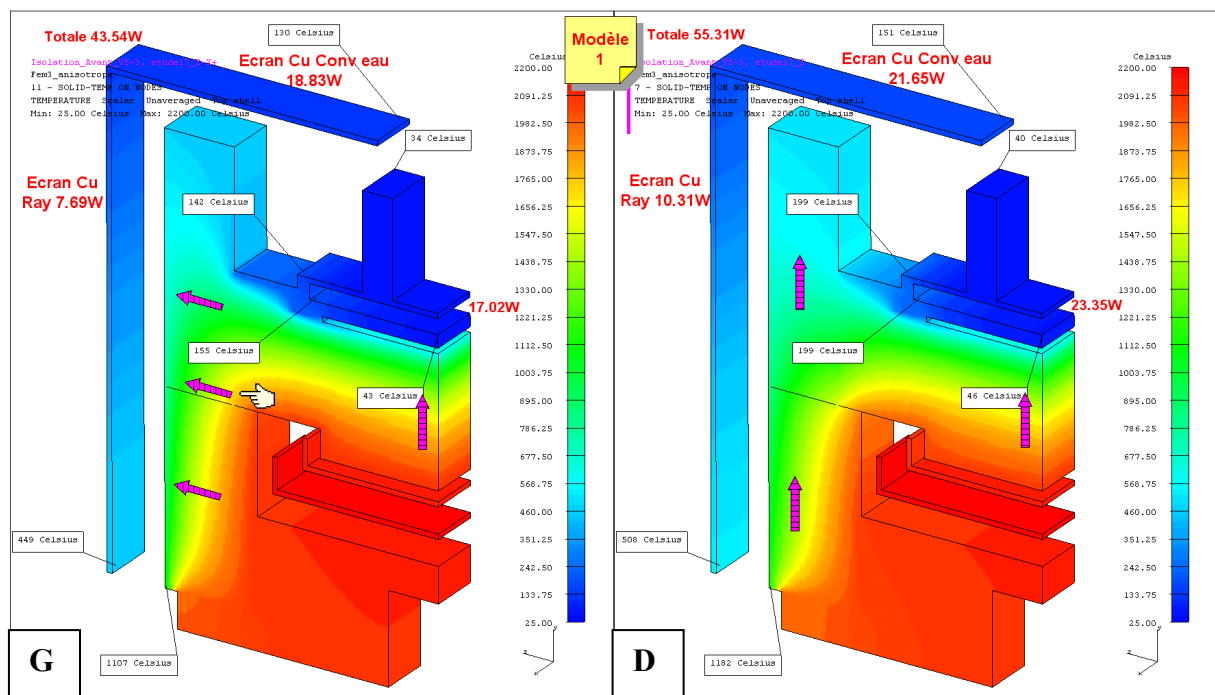


Figure 9. Températures et puissances avec modification inter-isolant.

## 2.3 Modèle n°2.

Dans cette géométrie l'extrémité de l'enceinte refroidie ne repose plus sur l'isolant intérieur comme dans le modèle n°1, mais reste en appui vertical (Figure 10). Un calcul est réalisé avec les isolants dans la position E17 (Figure 11).

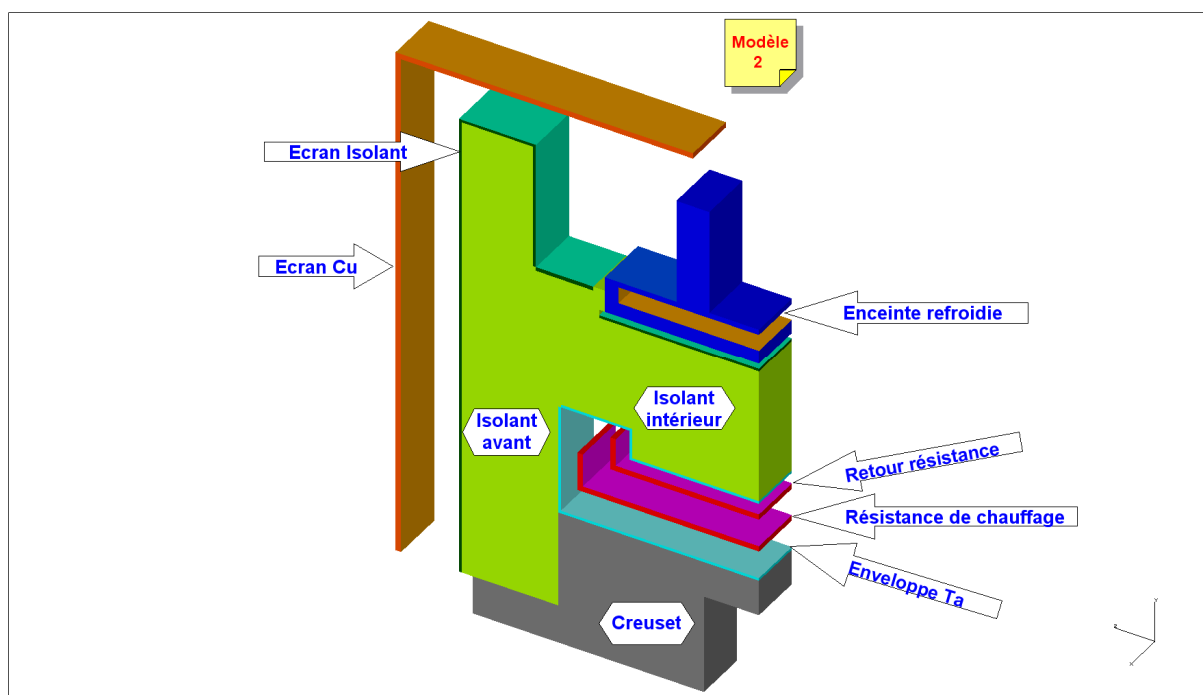


Figure 10. Géométrie du modèle n°2

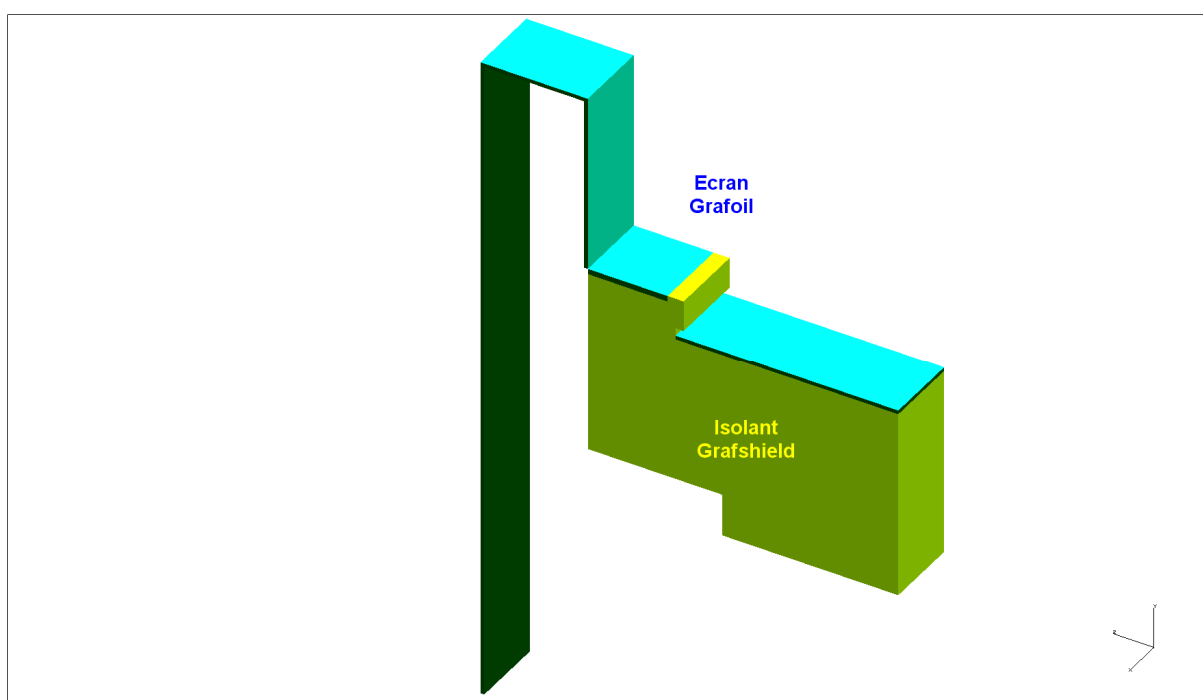


Figure 11. Configuration des isolants E17.

Dans cette configuration E17 la température ainsi que la puissance (Figure 12, G et D) diminuent par rapport aux calculs du modèle n°1 (Figure 9, G et D). Pour les températures pariétales en extrémité de l'enceinte refroidie respectivement de 155°C à 82°C (G) et de 199°C à 79°C (D). Pour les puissances de 43.54W à 42.05W (G) et de 55.31W à 47.28W (D).

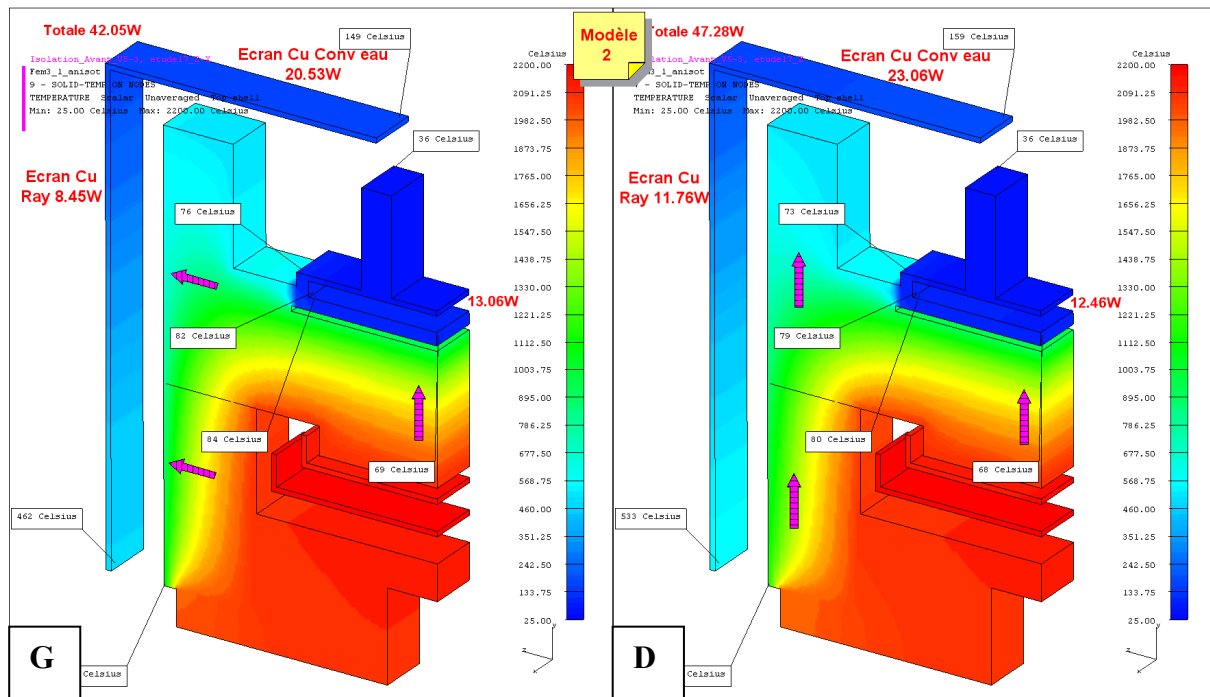


Figure 12. Températures et puissances modèle n°2 E17.

Dans la configuration E18 (Figure 13), l'écran Grafoil sous l'enceinte refroidie est remplacé par du tantale.

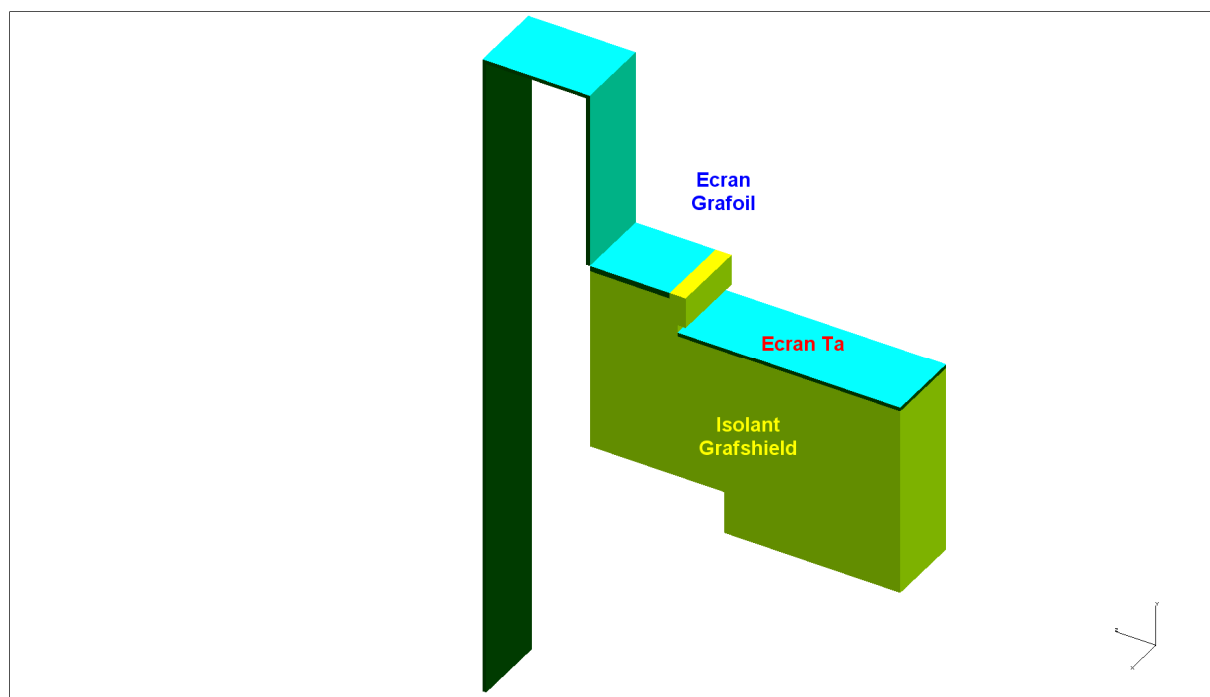


Figure 13. Configuration des isolants E18

L'effet sur les températures et la puissance n'est pas significatif (Figure 14).

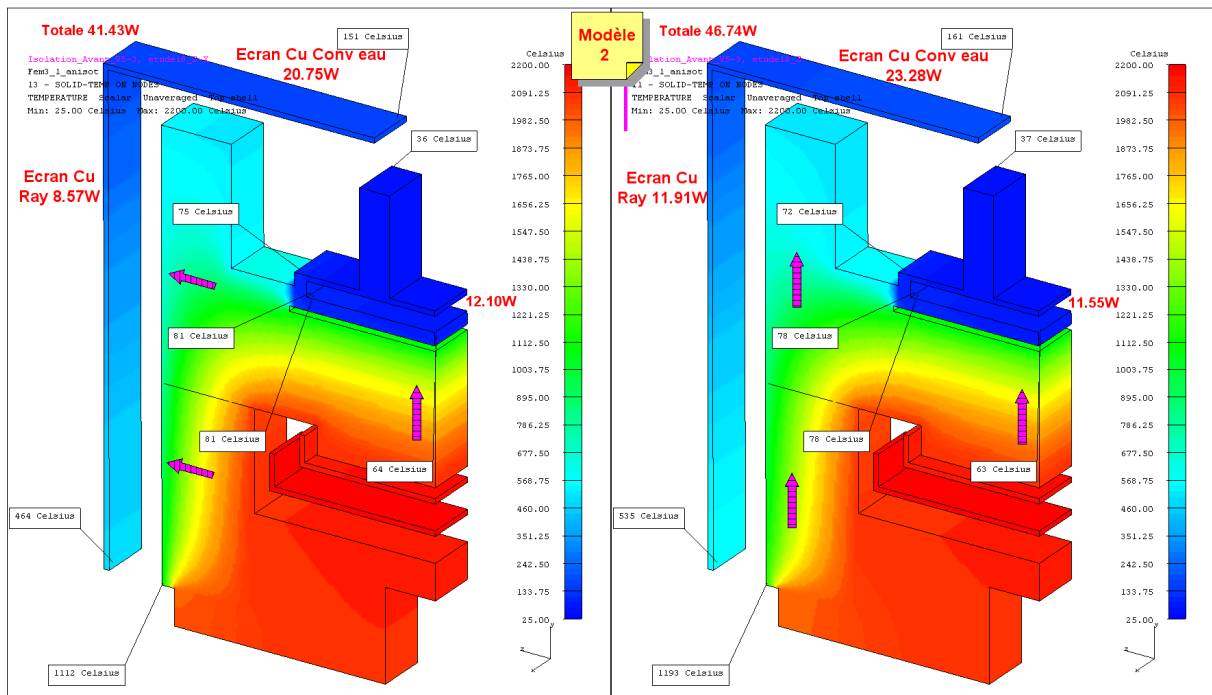


Figure 14. Températures et puissances modèle n°2 E18.

## 2.4 Modèle n°3.

Dans cette géométrie l'enceinte refroidie est en appui vertical et horizontal avec l'isolant intérieur (Figure 15).

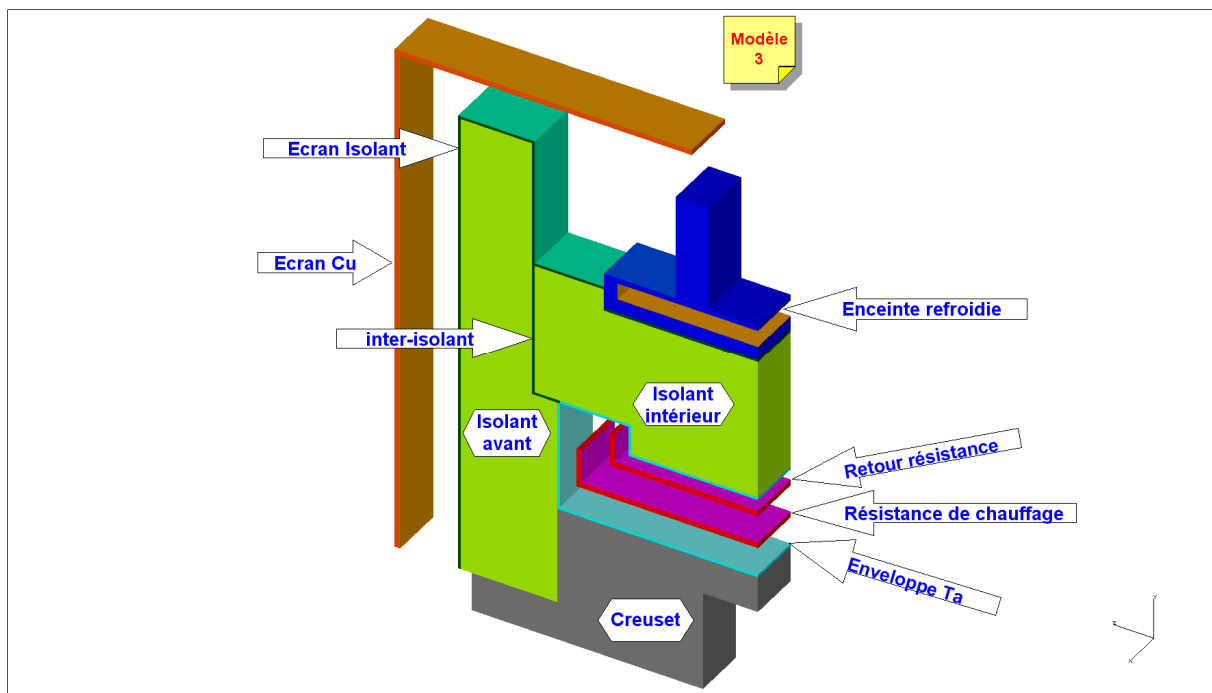


Figure 15. Géométrie du modèle n°3.

Pour ce modèle n°3 quatre arrangements d'isolants Grafoil et Grafshield sont présentés, nommés E17, E19, E20 et E21. Dans un cinquième arrangement, E22, on ajoute un feutre RVG 4000 [3], ayant aussi une conductivité thermique orthotrope.

### 2.4.1 Configurations E17, E19.

Pour faciliter la compréhension les isolants Grafshield et Grafoil sont représentés séparés mais ils sont en fait superposés (Figure 16 et Figure 17).

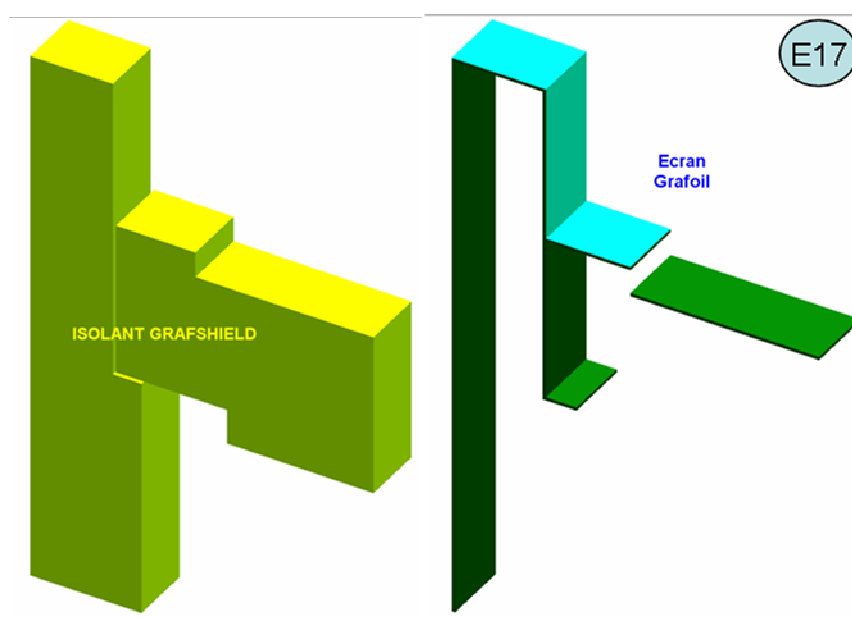


Figure 16. Arrangement des isolants E17 modèle n°3.

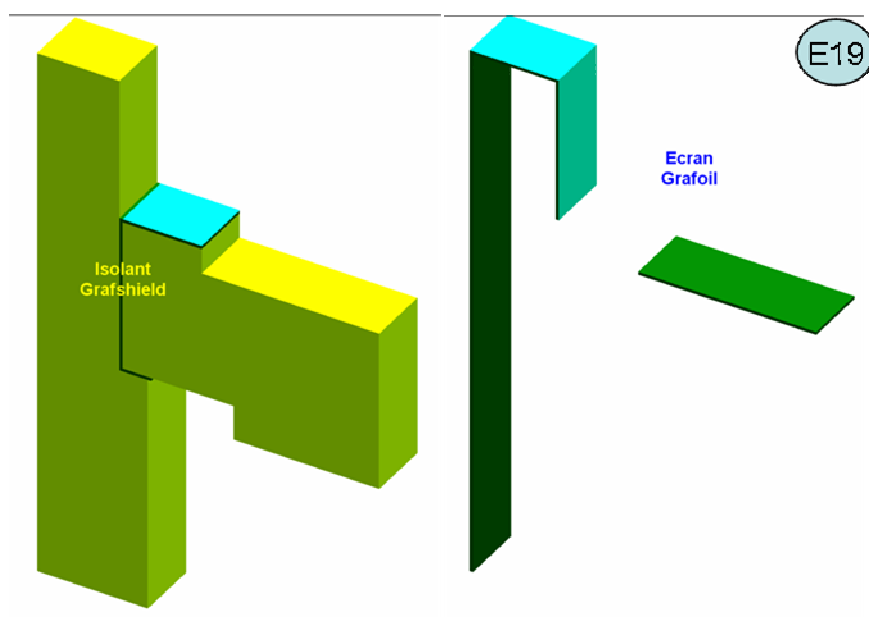


Figure 17. Arrangement des isolants E19 modèle n°3.

On constate sur la Figure 18 l'effet de suppression du drain pour les températures et les puissances en passant de la configuration E17 à E18.

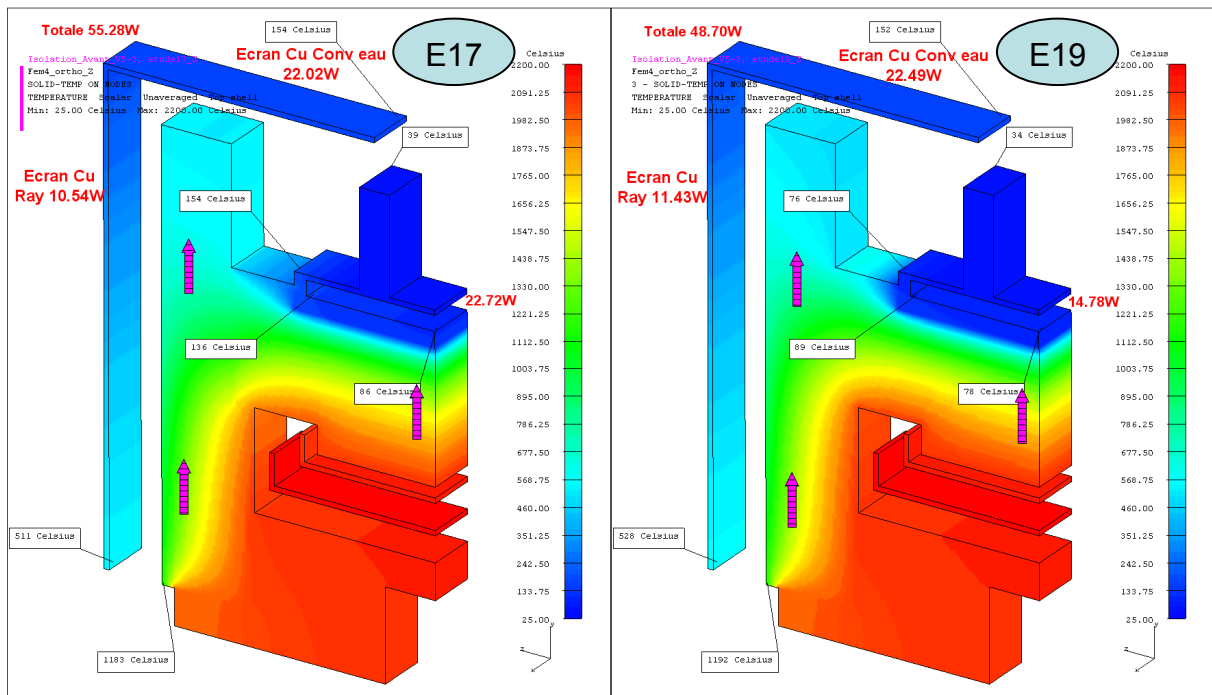


Figure 18. Températures et puissance modèle n°3, configuration E17 et E19.

## 2.4.2 Configurations E20, E21.

Les configurations sont représentées sur les Figure 19 et Figure 20.

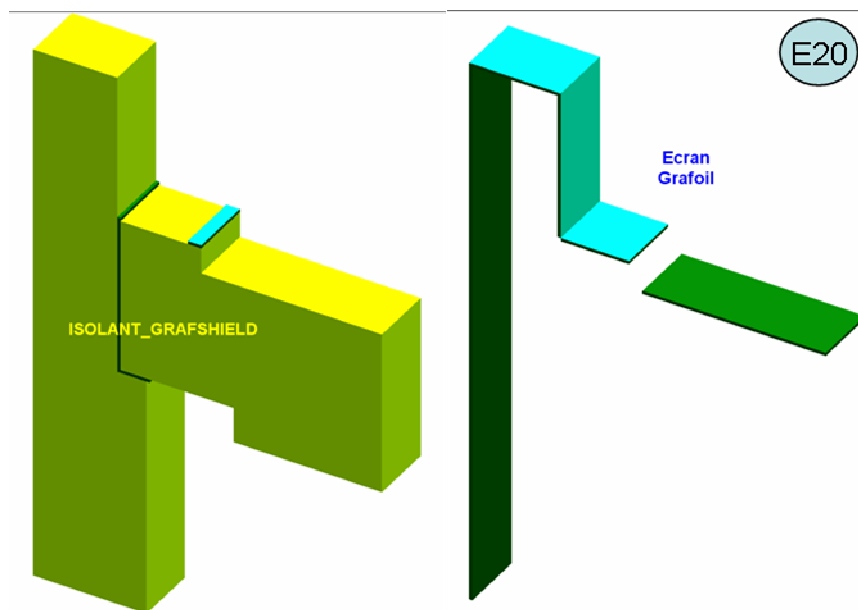


Figure 19. Arrangement des isolants E20 modèle n°3.

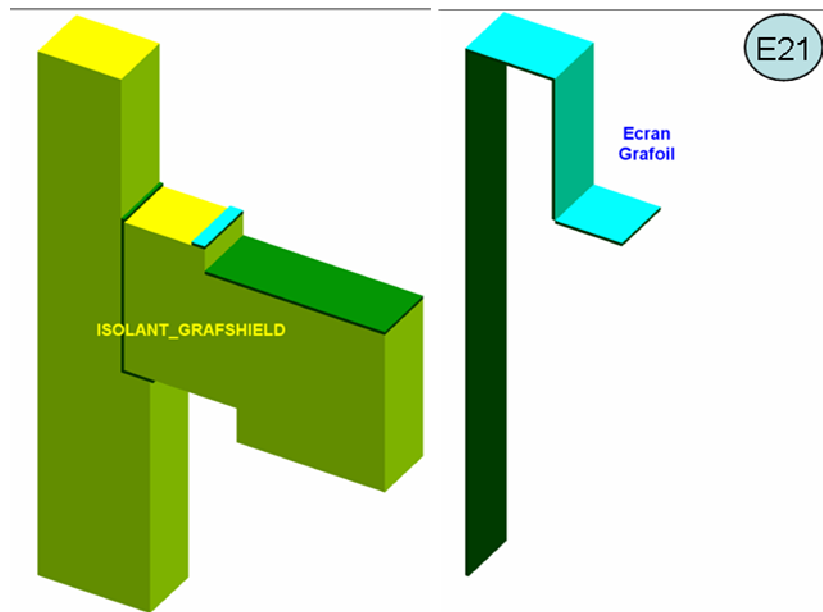


Figure 20. Arrangement des isolants E21 modèle n°3.

Les températures et les puissances calculées dans les configurations E20 et E21 de ce modèle n°3 (Figure 21) ne montrent pas différences significatives par rapport au calcul de ce même modèle dans la configuration E19 (Figure 18).

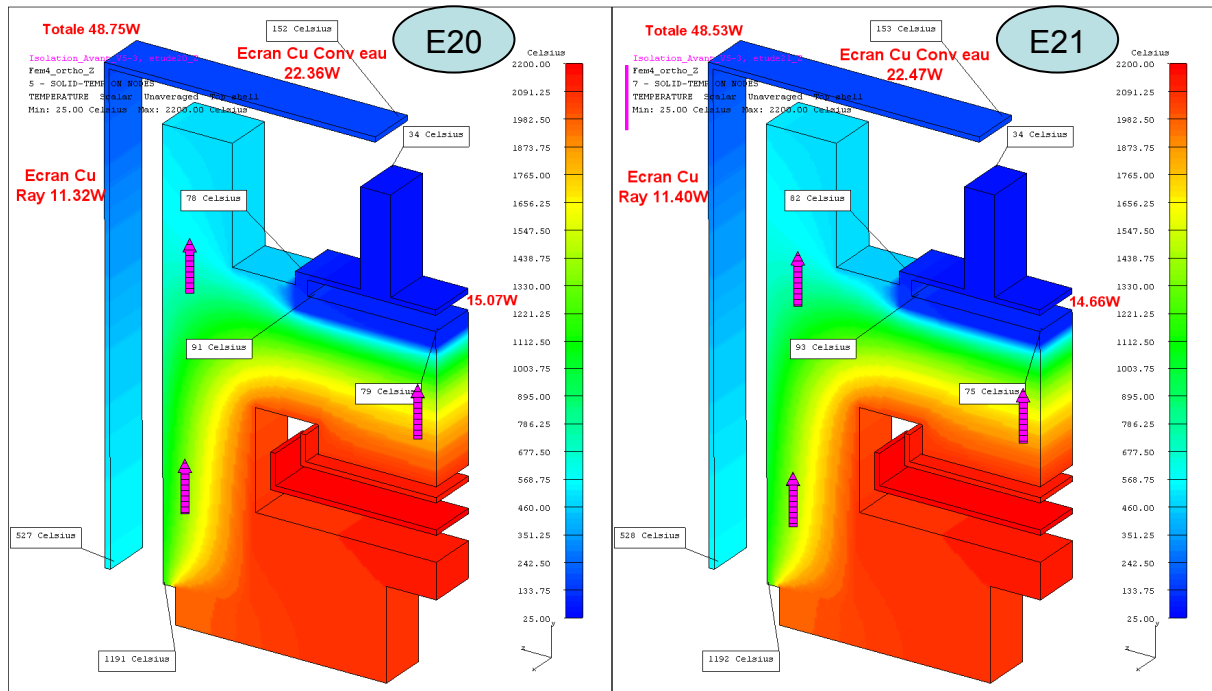


Figure 21. Températures et puissance modèle n°3, configuration E20 et E21.

### 2.4.3 Configurations E22.

Dans cette configuration E22 la partie supérieure de l'isolant intérieur en contact horizontal avec l'enceinte refroidie, est remplacée par un feutre de type RVG4000 de 6mm d'épaisseur (Figure 22).

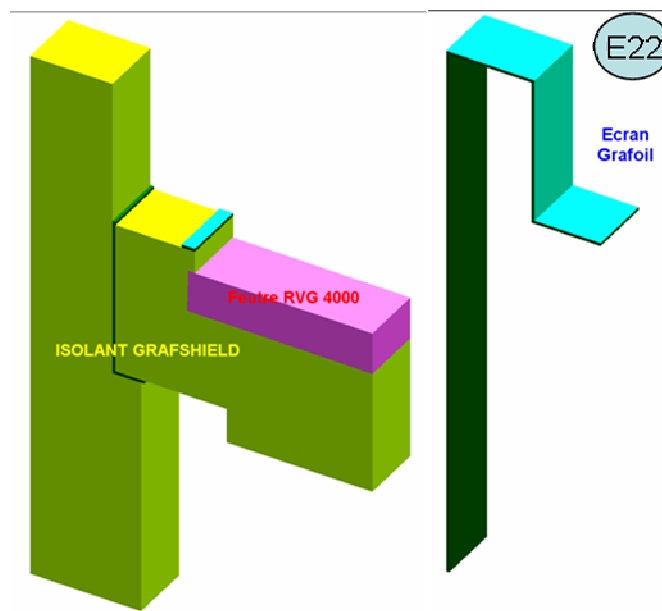


Figure 22. Arrangement des isolants E22 modèle n°3.

En termes de températures et de puissance (Figure 23) les résultats de ce cas sont proches de ceux obtenus dans le calcul du modèle n°2 configuration E18 (Figure 14).

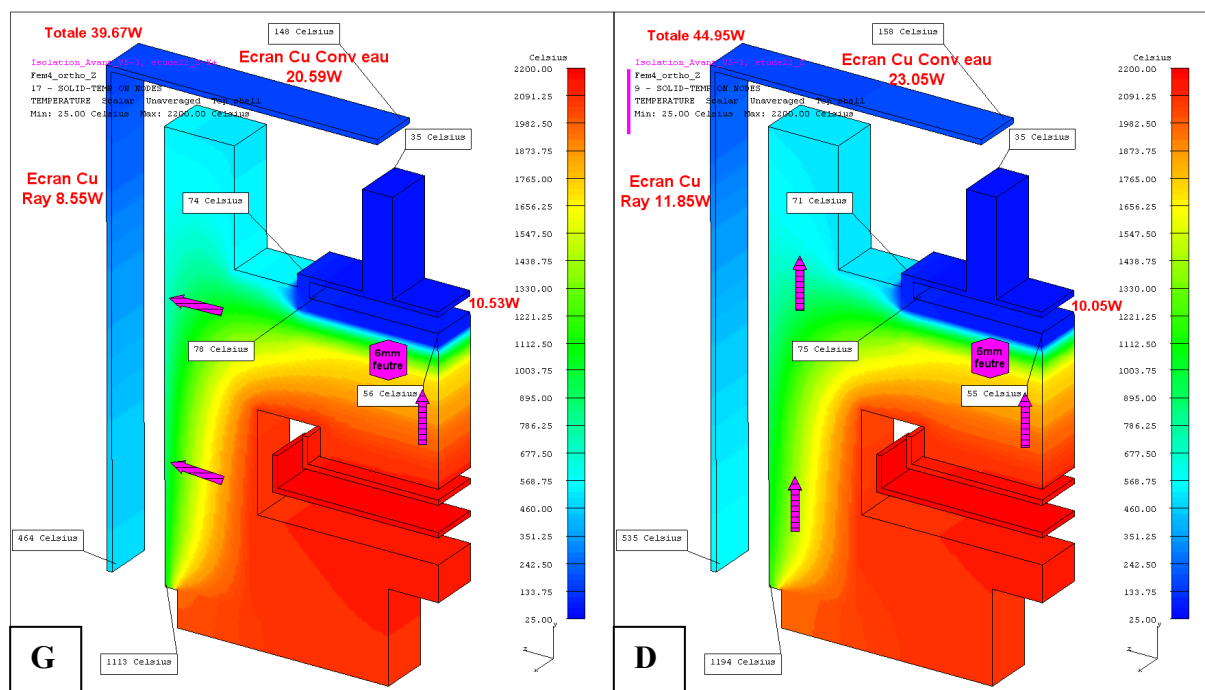


Figure 23. Températures et puissance modèle n°3, configuration E22.



## 2.5 Commentaires.

Les données relatives aux isolants hautes températures fournies par le fabricant [1] sont incomplètes, pas toujours cohérentes voir inexistantes. Ceci peut entraîner une dispersion sur les résultats qu'il faut prendre en compte pour déterminer l'épaisseur d'isolant permettant d'assurer une marge de sécurité suffisante. Les calculs de l'étape n°2 donneront quelques indications sur l'épaisseur d'isolant.

Les températures dans la zone écran cuivre et nez de creuset dépendent de conditions locales et ne sont pas représentatives dans ce modèle. Les calculs de l'étape n°3 seront faits sur une géométrie plus complète.

## 3 Etude de l'étape n°2.

### 3.1 Généralités.

A cette étape, au vu des résultats précédents et de l'avancée des études nous présentons successivement deux modèles.

### 3.2 Modèle V5-3-A03.

Ce modèle est décliné en 3 configurations distinctes. Les différences se situent au niveau de l'épaisseur de l'isolant intérieur et à la manière dont l'enceinte refroidie est en contact avec l'isolant avant et l'isolant intérieur (Figure 24, Figure 25, Figure 26).

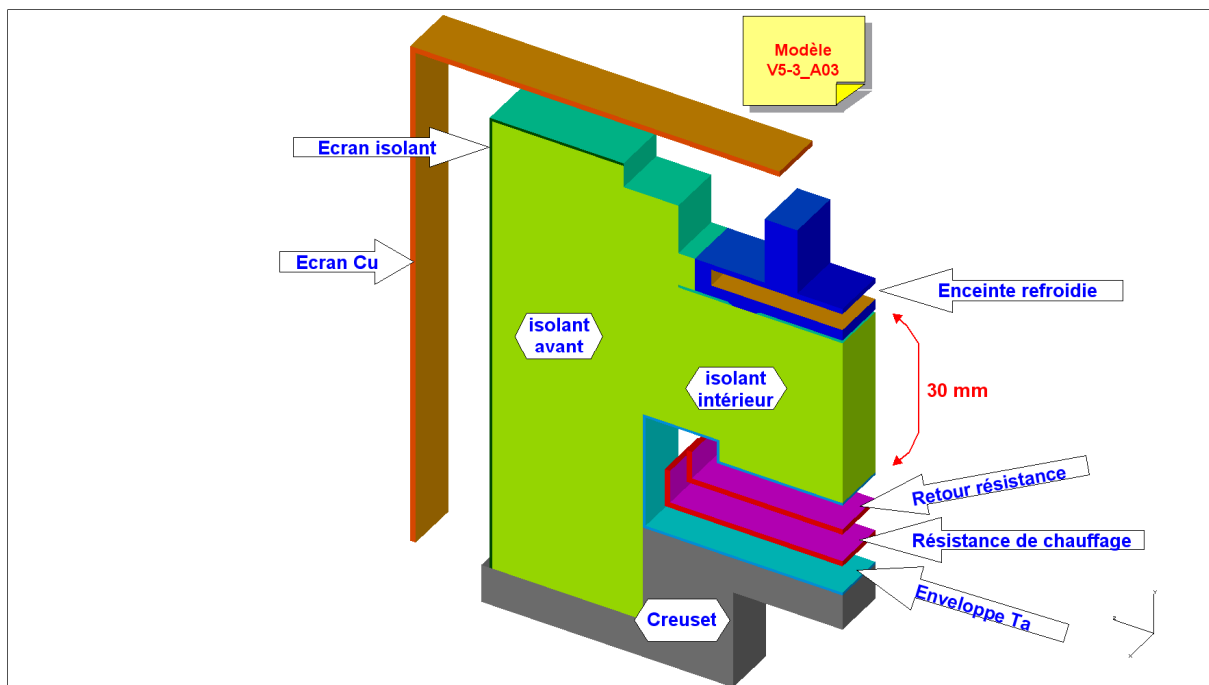


Figure 24. Configuration V5-3-A03

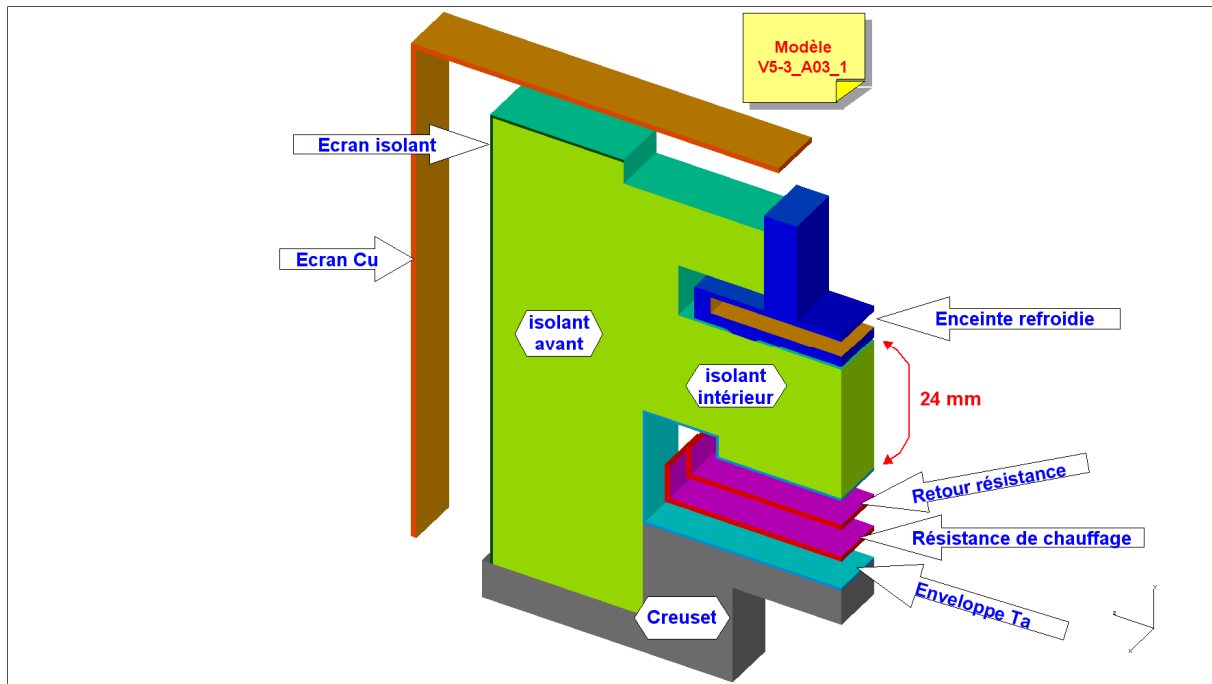


Figure 25. Configuration V5-3-A03-1

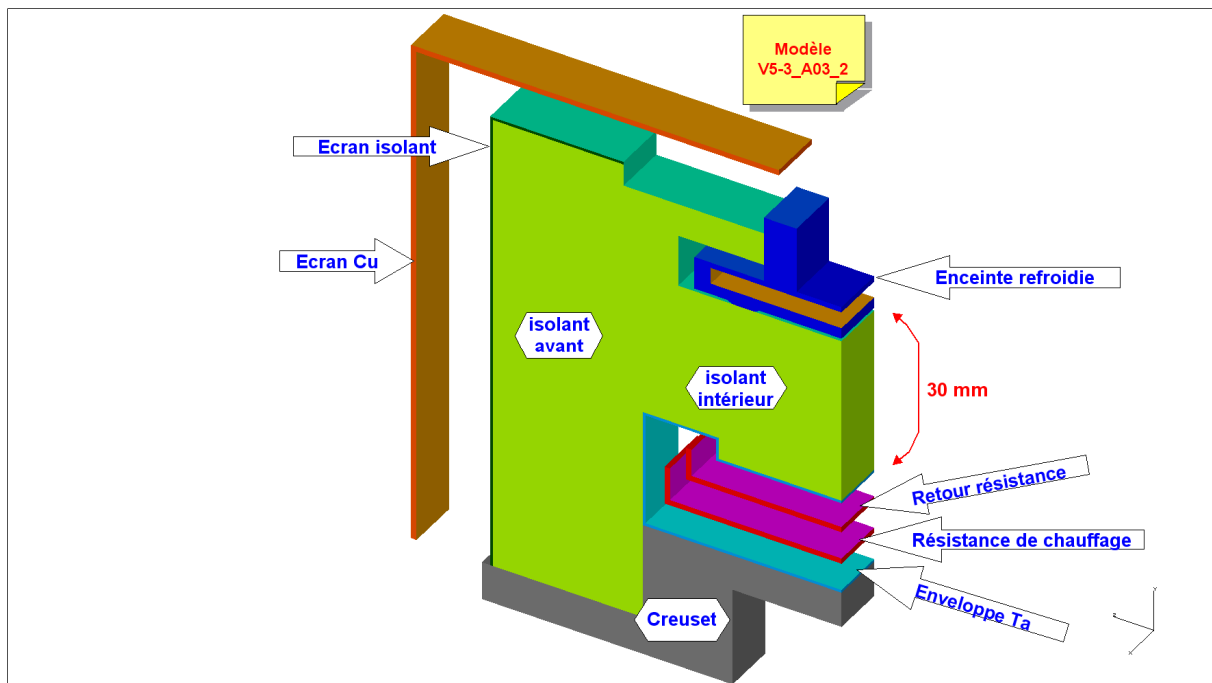


Figure 26. Configuration V5-3-A03-2

Les conditions aux limites sont identiques à celles décrites au chapitre 2.1.

### 3.2.1 Comparaison V5-3-A03 et V5-3-A03-2.

Dans ces 2 configurations l'épaisseur de l'isolant intérieur entre la zone de la résistance et l'enceinte refroidie est de 30mm et c'est l'appui de l'enceinte refroidie qui diffère. Les températures pariétales de l'enceinte refroidie sont meilleures dans la configuration V5-3-A03-2 (Figure 27 et Figure 28).

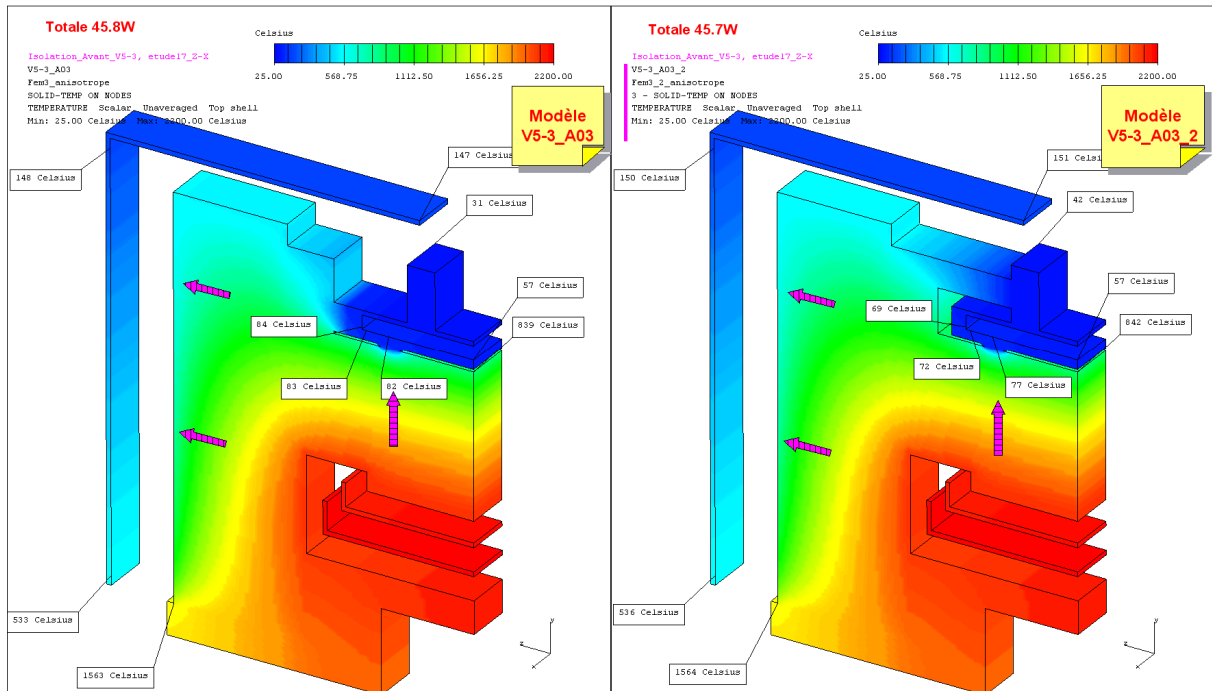


Figure 27. Températures V5-3-A03 et V5-3-A03-2.

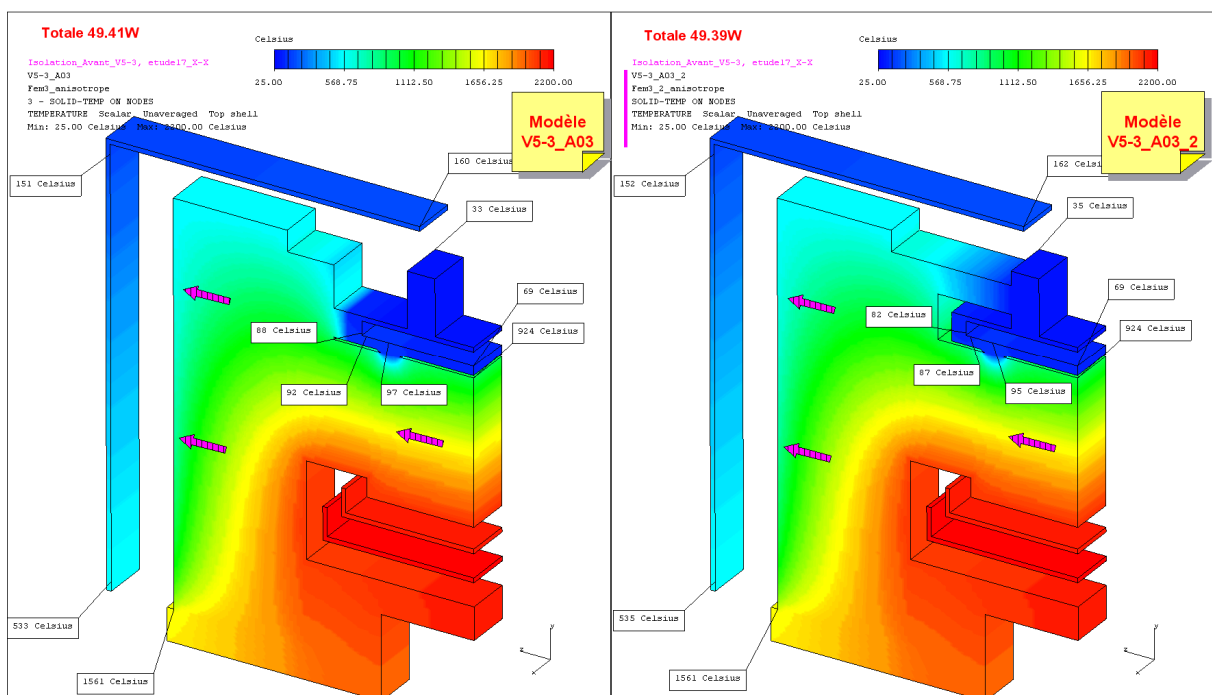


Figure 28. Températures V5-3-A03 et V5-3-A03-2.

### 3.2.2 Comparaison V5-3-A03-1 et V5-3-A03-2.

Dans ces 2 configurations l'épaisseur de l'isolant intérieur entre la zone de la résistance et l'enceinte refroidie est respectivement de 24mm et 30mm (Figure 25 et Figure 26). Les températures pariétales de l'enceinte refroidie sont encore meilleures dans la configuration V5-3-A03-2 (Figure 29).

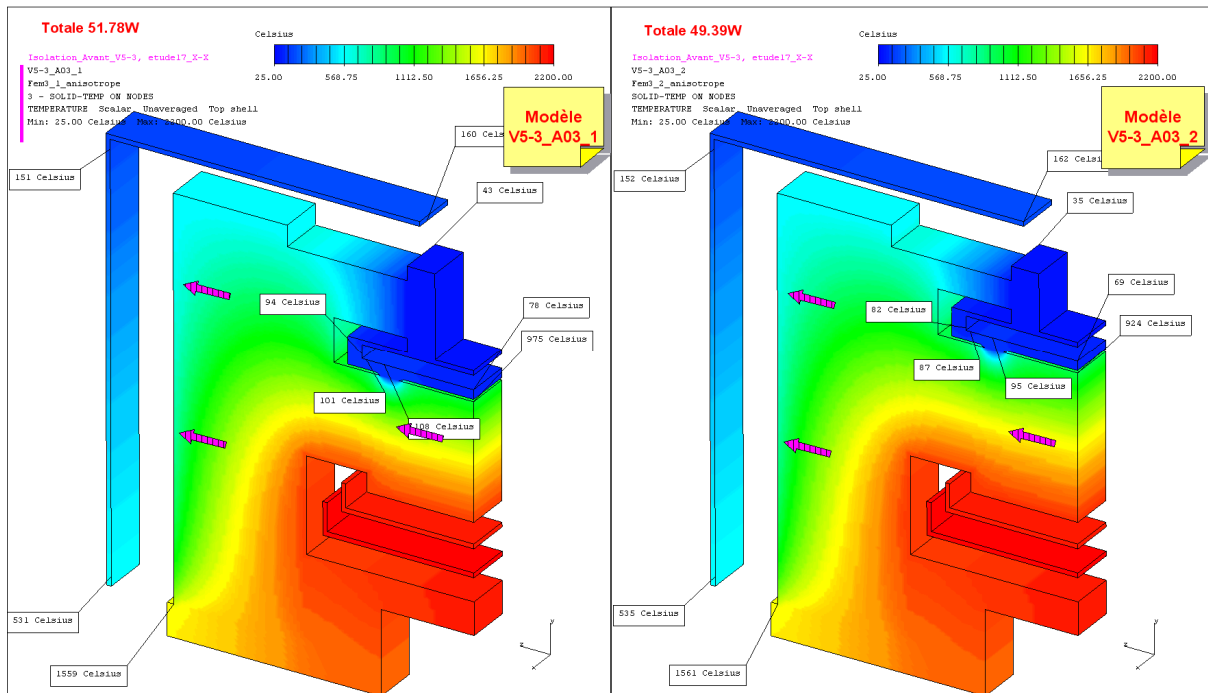


Figure 29. Températures V5-3-A03-1 et V5-3-A03-2.

### 3.2.3 Configuration V5-3-A03-2.

Nous avons testé l'influence du changement de matériaux de l'écran cuivre en écran tantale. Comme nous pouvons le constater sur la Figure 30, les températures dans l'isolant avant ont augmenté de même que celles de l'enceinte refroidie. Cet effet est la conséquence d'une meilleure réflexion par l'écran tantale entraînant par là même une diminution de la puissance totale de 49.39W à 42.19W (~14%).

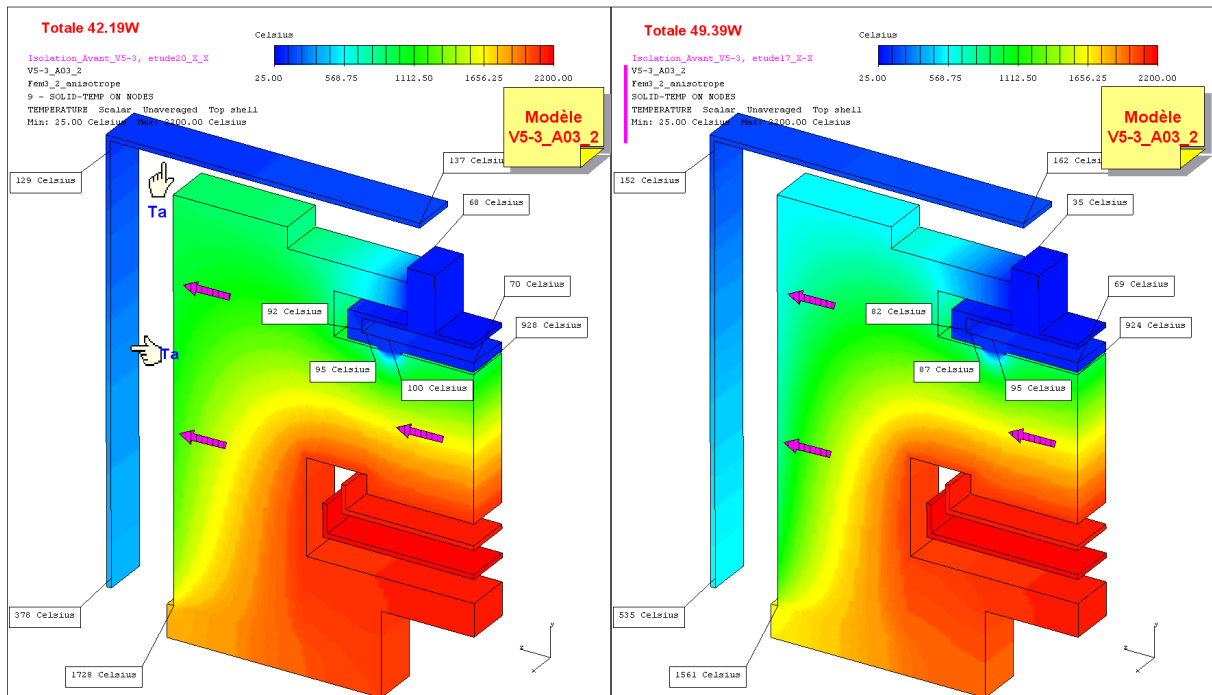


Figure 30. Températures V5-3-A03-2 avec écran Ta et écran Cu.

### 3.3 Modèle V5-3-A04-2.

Dans ce modèle (Figure 31) les épaisseurs des isolants intérieurs et avant sont augmentées. Le contact de l'enceinte refroidie est celui de la configuration V5-3-A03-2.

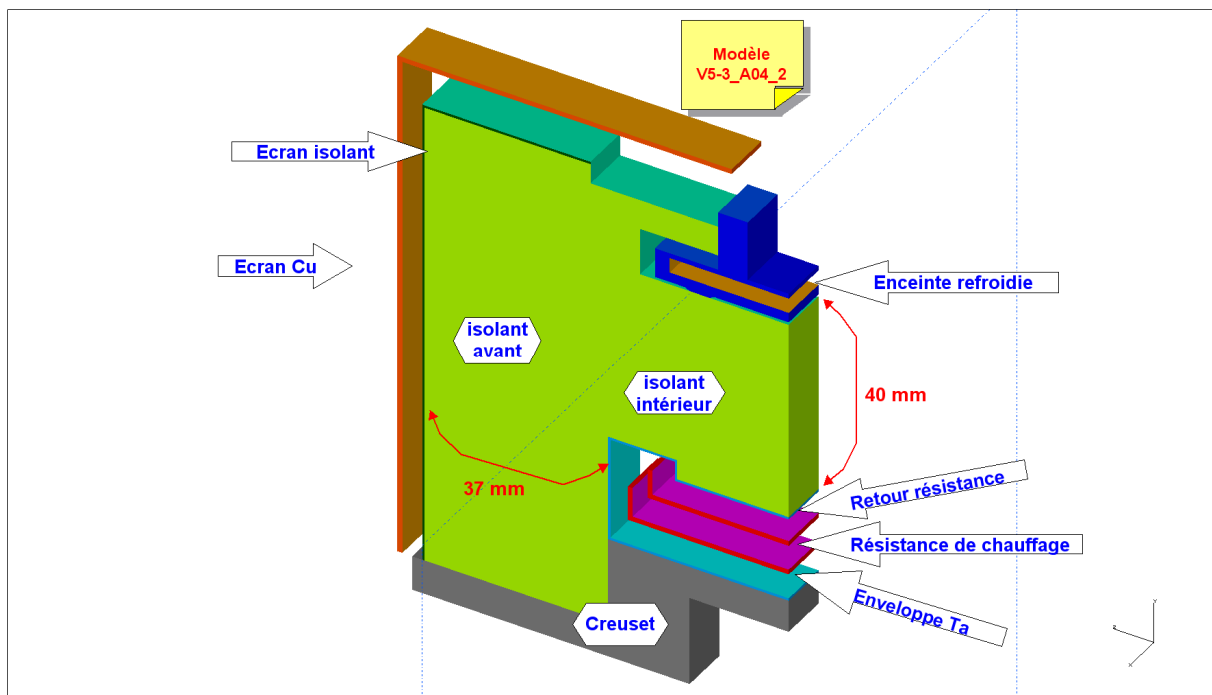


Figure 31. Modèle V5-3-A04-2.

Les températures et les puissances représentées Figure 32 ont diminué par rapport à celles du modèle V5-3-A03-2 avec écran Ta et écran Cu (Figure 30).

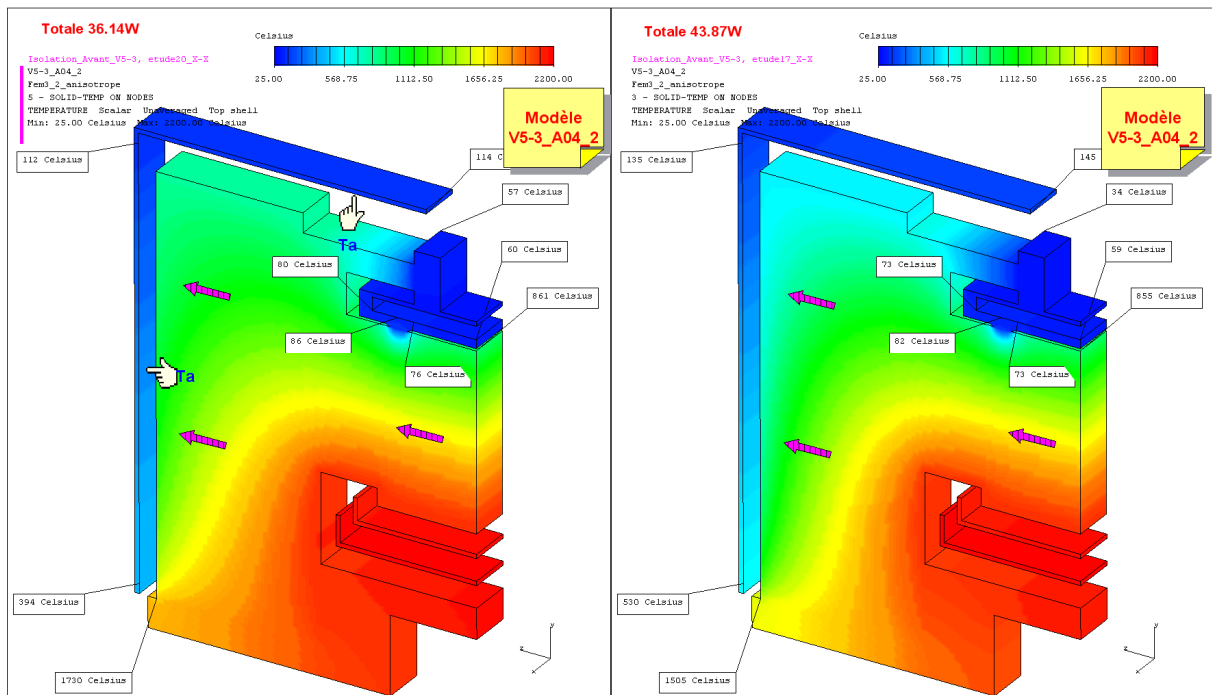


Figure 32. Températures V5-3-A04-2 avec écran Ta et écran Cu.

## 4 Etude de l'étape n°3.

### 4.1 Modèle V5-3-A09.

A cette étape la section élémentaire du modèle de calcul représente avec plus de détails les pièces réelles (Figure 33). Ainsi l'écran en cuivre possède deux canaux de refroidissement, un isolant céramique et un tube de transfert apparaissent. Le nez du creuset et l'isolant céramique sont munis d'un écran en tantale. Deux parties isolantes en AMW [1], dénommées bride et contre bride, sont insérées dans isolant avant en regard de l'écran en cuivre.

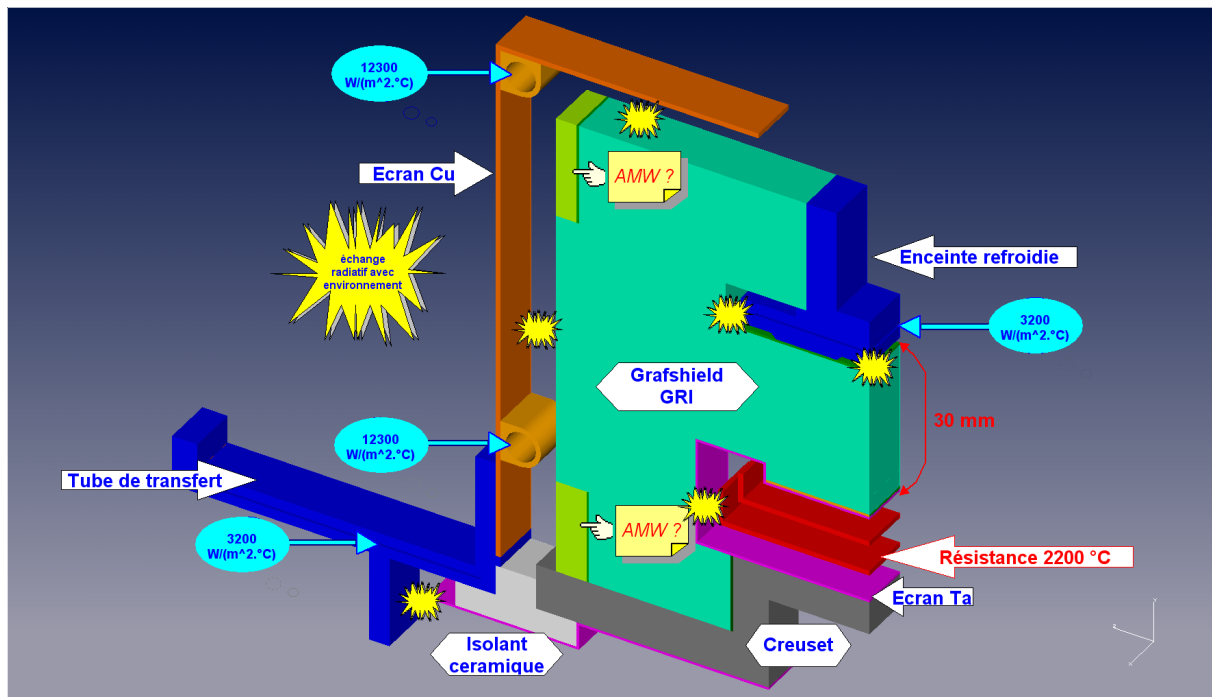


Figure 33. Modèle V5-3-A09 avec conditions aux limites.

#### 4.1.1 Comparaison étude17 et étude18.

L'étude 18 est faite avec les conditions aux limites décrites ci-dessus, l'étude 17 est identique mais sans rayonnement entre l'isolant céramique et le tube transfert. Il y a une légère augmentation de la puissance dissipée dans la résistance de 0,93W (1,3%) avec une répartition différente des puissances convectées entrainant une augmentation de 1,45W (7,1%) dans le tube de transfert (Figure 34).

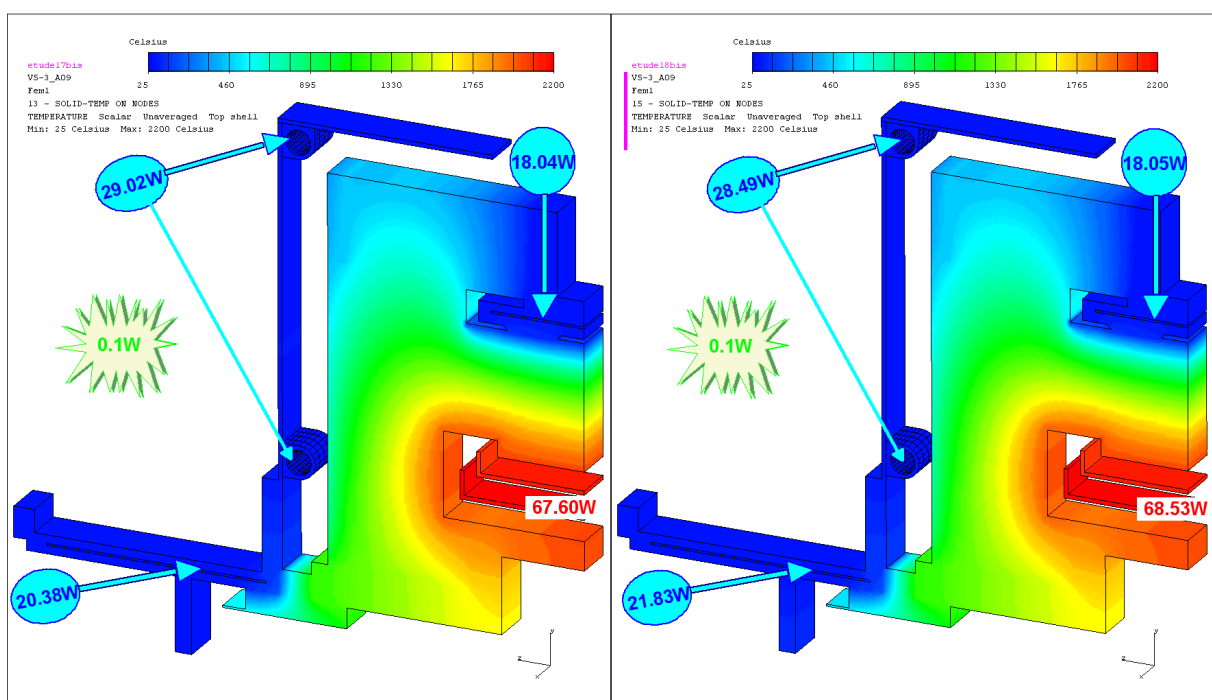


Figure 34. Températures, puissances étude 17 et étude 18.

Les températures sont représentées séparément pour l'enceinte refroidie, l'écran Cu, le tube transfert, l'isolant céramique pour l'étude 17 (Figure 35) et l'étude 18 (Figure 36). On constate l'effet du rayonnement sur les températures du tube de transfert et aussi sur l'isolant céramique.

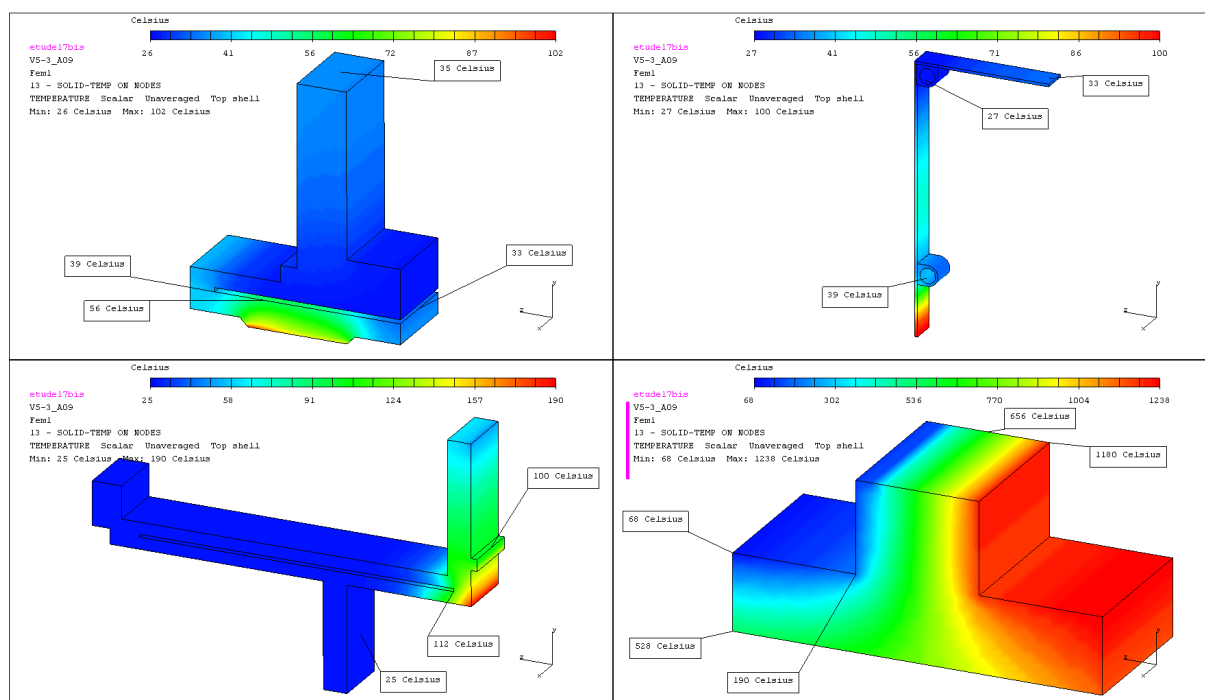


Figure 35. Températures étude 17.

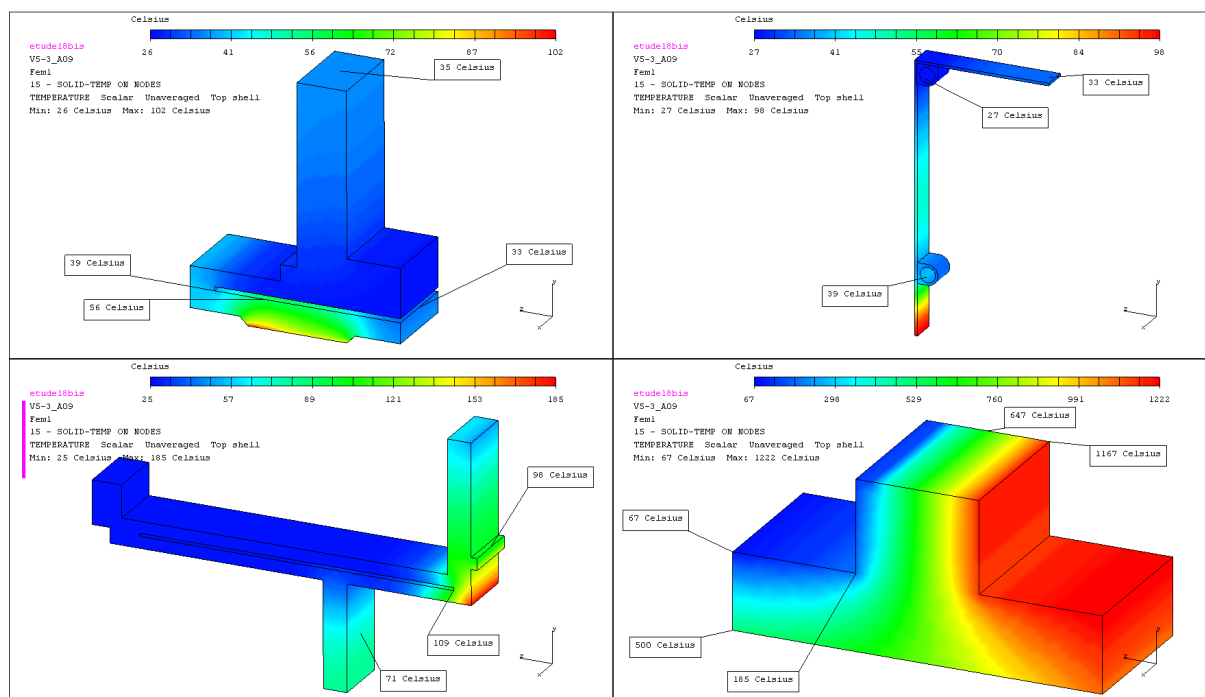


Figure 36. Températures étude 18.



## 4.1.2 Comparaison étude18 et étude19.

Dans l'étude 19 l'isolant AMW est remplacé par du PAPYEX [3]. Les températures et les puissances pour le modèle sont représentées Figure 37. Les températures sur les éléments séparés de la Figure 38 sont à comparer à celles de la Figure 36 .

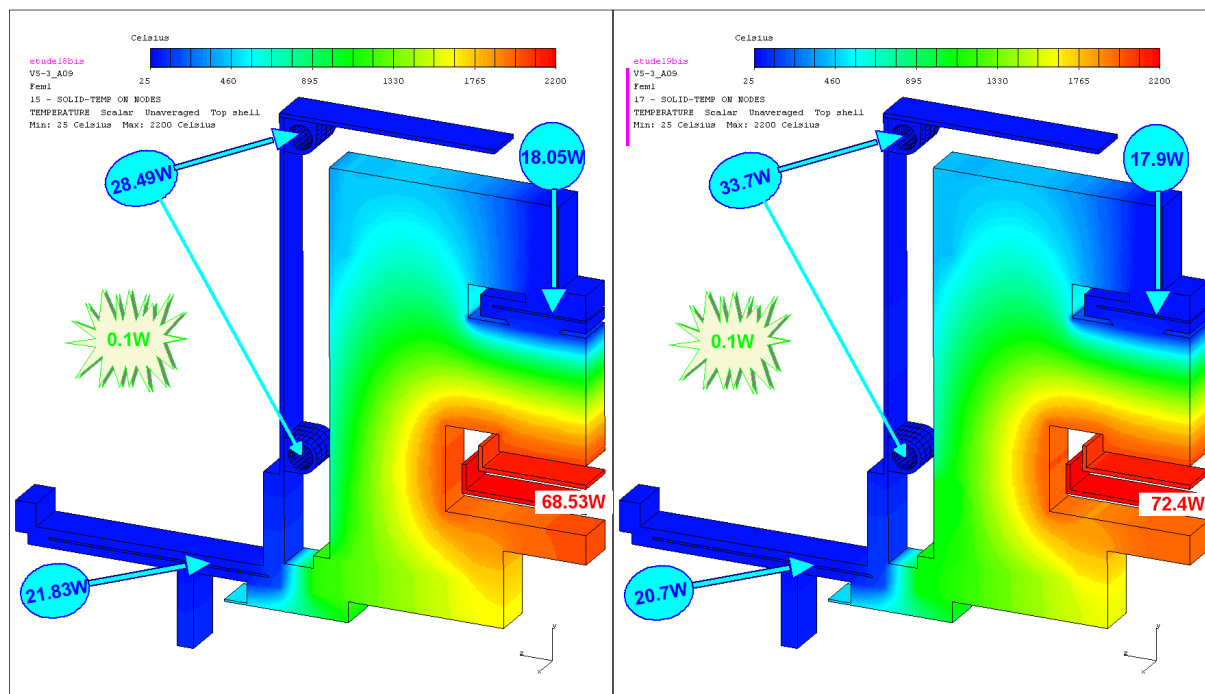


Figure 37. Températures et puissances étude 18 et étude 19.

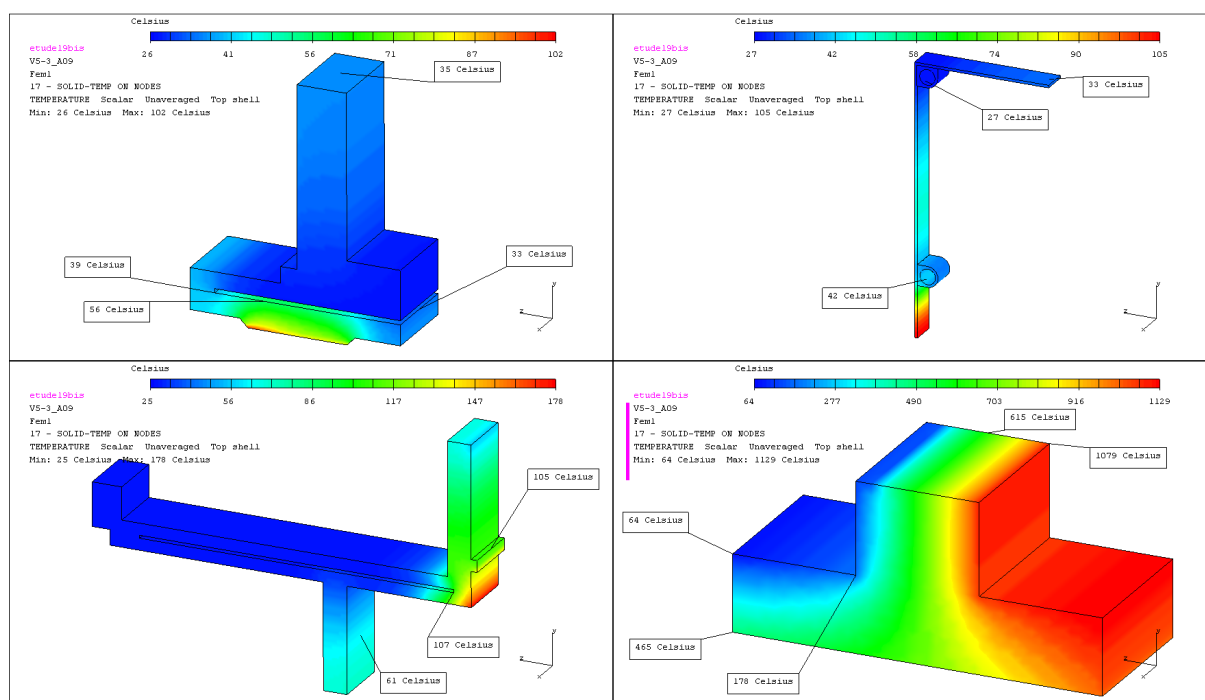


Figure 38. Températures étude 19.

### 4.1.3 Comparaison étude18 et étude20.

Dans l'étude 20 l'isolant AMW est remplacé par du Grafoil. Les températures et les puissances pour le modèle sont représentées Figure 39. Les températures sur les éléments séparés de la Figure 40 sont à comparer à celles de la Figure 36 .

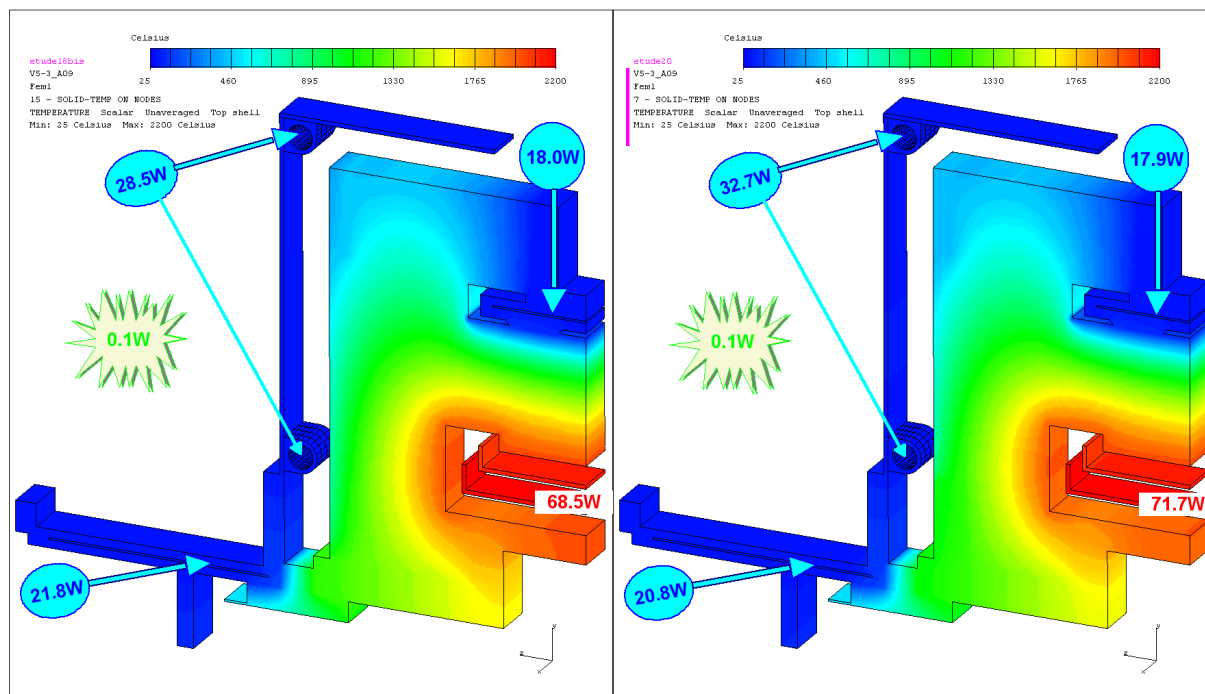


Figure 39. Températures et puissances étude 18 et étude 20.

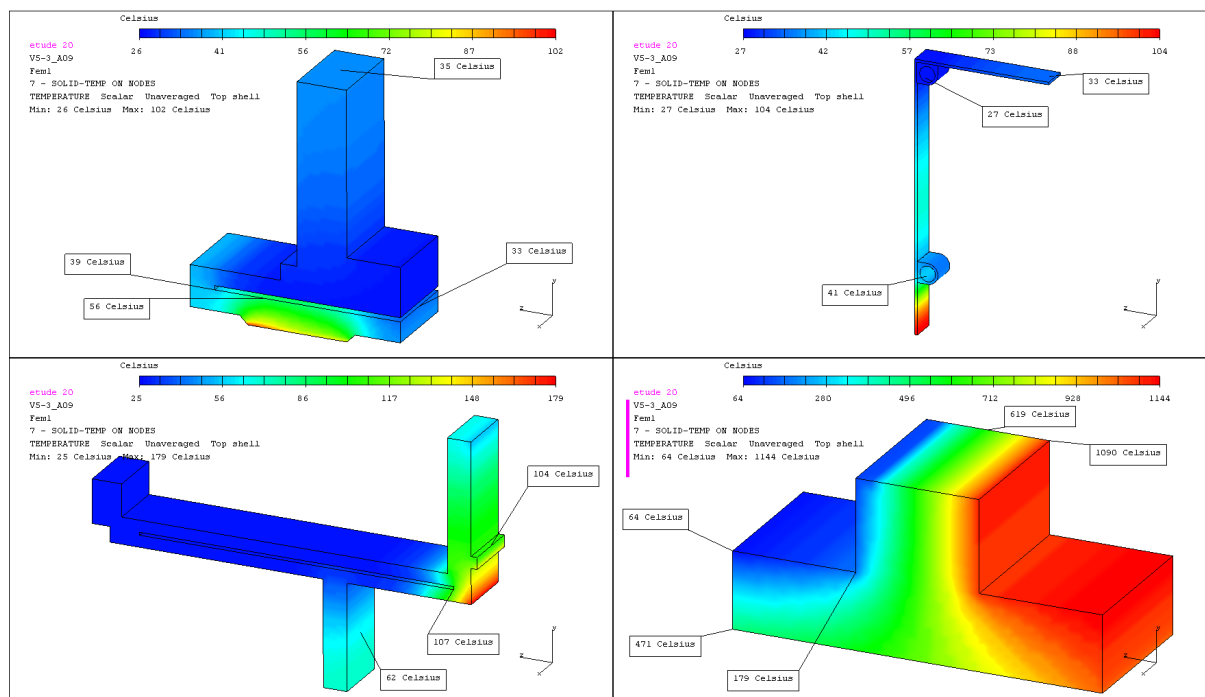


Figure 40. Températures étude 20.

## **4.2 Commentaires.**

La comparaison de ces cas de calculs, étude 17 à étude 20, et pour trois matériaux différents pour la bride et contre brides ne montrent pas de variations importantes de températures.

Les températures de l'écran refroidi en cuivre sont acceptables ainsi que celles des canaux de refroidissement.

Pour l'enceinte de refroidissement les températures pariétales du canal hydraulique sont correctes. Le coefficient de convection utilisé pour le calcul est une valeur moyenne applicable dans un domaine où l'écoulement est établi. Or les zones d'entrées et de sorties d'eau (tuyau normal au canal hydraulique, non représenté dans les études), sont exclues de ce domaine. Il sera nécessaire de modifier la forme du canal de refroidissement pour supprimer les zones à faibles vitesses d'écoulement pouvant entraîner une augmentation de la température. Ces remarques sont applicables au tube de transfert. De plus la zone proche de l'alumine présente des températures élevées.

Les températures de l'alumine type MM1100 dépassent la température de service (595°C pour le MM1100).

## **5 Conclusions.**

L'écran refroidi en cuivre est efficace, la puissance rayonnée vers l'extérieur est faible.

L'ajout d'un tube de transfert avec alumine modifie le gradient de température sur la partie avant avec, pour conséquences, une augmentation de la consommation de puissance et une diminution des températures du creuset.

Il est nécessaire de modifier le canal de refroidissement pour l'enceinte refroidie et le tube de transfert.

## **6 Références.**

[1] Sté GRAFTECH France La Léchère 73264 Aigueblanche cedex.

[2] SIEMENS PLM Software 13 av. Morane Saulnier 78141 Velizy villacoublay cedex.

[3] Groupe CARBONE LORRAINE BP 148 41 av Jean Jaurès 92231 Gennevilliers